CHRISTIAN GELLERT

aprenda Transistores en 15 días

un método ideal de autoenseñanza sin matemáticas

casi leyendo de corrido Ud. llegará a dominar los misterios de los **TRANSISTORES**

H.A.S.A. EDITORIAL HISPANO AMERICANA S.A.

CHRISTIAN GELLERT
con la dirección técnica del
Ing. FRANCISCO L. SINGER

APRENDA TRANSISTORES EN 15 DIAS

CON 187 FIGURAS



EDITORIAL HISPANO AMERICANA, S. A.
ALSINA 731 BUENOS AIRES

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723

Buenos Aires — 1963

Impreso en la Argentina Printed in Argentine

Día 1

El tema que nos proponemos desarrollar no es sencillo, pero resultará tan apasionante que sacaremos provecho del interés del lector, para llevarlo paso a paso en los intrincados caminos de la electrónica moderna. Hace algunos años no hubiera sido posible abordar este problema, pero hoy en día nos hemos acostumbrado a leer en los diarios y revistas palabras como: átomos, energía nuclear, radioactivo, electrones, atracción terrestre, etc., todas las cuales nos resultan ya familiares aunque no tengamos un conocimiento cabal de sus magnitudes, comportamiento, dependencias y otras cuestiones que pertenecen al dominio de la ciencia.

El caso es que mucha gente tiene en su mano una cajita que le permite oir los programas de radio, sabe que adentro hay transistores, que desde que la compró esos transistores andan siempre, y que de cuando en cuando debe cambiar las pilas, pero con mucho menos frecuencia que cuando tuvo un receptor con válvulas, el cual además de las pilas necesitaba una costosa batería. Y bien, todo eso ha hecho que les tome simpatía a los susodichos transistores, y que desee compenetrarse de cómo funcionan y de qué están hechas esas pastillitas mágicas. Bueno, esa es nuestra tarea y pongamos manos a la obra de inmediato.

CONDUCTORES, AISLADORES Y SEMICONDUCTORES

Hablemos de la materia

Todo el universo, los cuerpos que nos rodean, los que vemos y los que no vemos, sean sólidos, líquidos o gases, constituyen la *materia*. O sea que el universo tiene materia y tiene la nada; donde no hay materia hay precisamente la nada. En los inmensos espacios interestelares no hay nada, hay el vacío absoluto. Alrededor de cada planeta, de cada estrella, hay envolturas gaseosas a las que se les da el nombre de atmósfera. Inclusive hay veces que no existe la atmósfera en algunos astros. El espesor de esas capas de atmósfera comparada con el espacio infinito es despreciable; por ejemplo, nuestro planeta tiene una atmósfera cuyo espesor es unas doscientas veces menor que el diámetro del globo, algo así como una ciruela con su cáscara...

Nos resultará más cómodo hablar de la materia sólida, por el momento. Tomemos un trozo de ella, por ejemplo un terrón de azúcar; lo trituramos y obtenemos un polvo formado por granitos pequeños. Si tomáramos un trozo de yeso, los granitos serían mucho más pequeños, pero cada granito es azúcar, o es yeso. Imaginemos que pudiéramos triturar esos granitos y obtendríamos otros mucho más pequeños, pero siempre sólidos, prácticamente invisibles pero siempre sólidos. Bueno, de esa solidez es que queremos hablar para destruir ese mito.

El caso es que la solidez impenetrable no existe. Esos granitos, si los pudiéramos ver con un microscopio, pero un microscopio capaz de aumentar unas diez millones de veces, comprobaríamos que son casi vacíos, que tienen unos minúsculos sistemas planetarios cuyo diámetro es de unos dos diezmillonésimos de milímetro, y que a su vez están casi vacíos, pues tienen un pequeño núcleo central y algunas esferitas girando alrededor. La figura 1 nos muestra esto y algo más. Ese núcleo está compuesto de un aglomerado de partículas muy especiales, unas son los *protones* y otras los *neutrones*, además de otras de menor importancia. Las bolitas exteriores que giran vertiginosamente son los *electrones*, y el sistema planetario completo no es otra cosa que el *átomo*.

Y hay todavía algo más maravilloso: los protones y los electrones son *cargas eléctricas*, las más elementales, las que, cuando están agrupadas en cantidades fabulosas, constituyen la electricidad. Para tener una idea de su pequeñez como carga eléctrica, diremos que si pudiésemos juntar unos tres trillones de electrones y los hacemos pasar por el filamento de una lámpara eléctrica de las que hay en nuestra casa, la man-

tendríamos encendida solamente durante un segundo... Y piénsese que para escribir esa cantidad debemos poner el número 3 seguido de 18 ceros...

Volviendo a la figura 1, vemos que hemos puesto tres electrones en la órbita en la cual giran, que no necesita ser la misma para los tres; al lado de su nombre le hemos puesto el signo (—), puesto que el electrón es una carga eléctrica negativa. Al lado del nombre del protón hemos puesto el signo (+), ya que el protón es una carga eléctrica positiva. Y es que, como es sabido, las cargas eléctricas pueden ser *positivas* o *negativas*, nombres con que se las ha

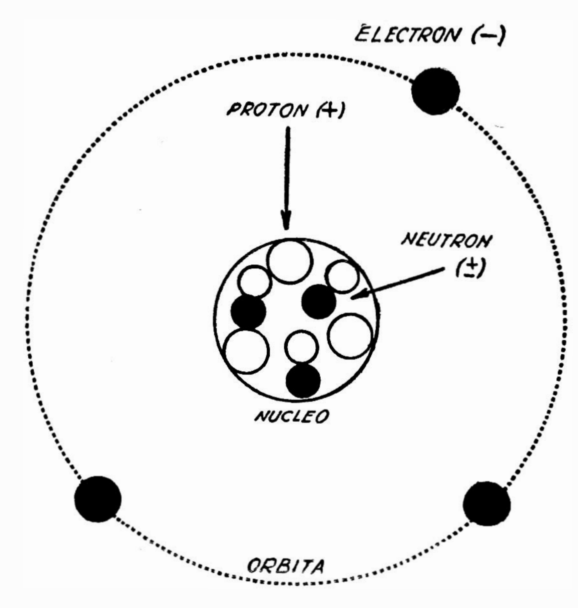


FIG. 1. — Imagen simplificada de la estructura de un átomo.

designado para diferenciarlas, puesto que se comportan de manera distinta. En el núcleo hay electrones, pero están casados o asociados con protones formando partículas indivisibles que se llaman *neutrones*; ello es porque una carga negativa (electrón) con una positiva (protón) se neutralizan y es como si la carga eléctrica se eliminara.

En resumen, ¿cuál será la carga eléctrica del núcleo del átomo de la figura 1? Hay tres neutrones que no se cuentan y tres protones, luego la suma de tres cargas positivas da una carga que vale 3, y es positiva. En derredor están girando 3 electrones, o sea una carga negativa, total de 3 unidades. Este átomo está equilibrado o completo y no acusa carga eléctrica. Para tener electricidad debemos arrancar un electrón y llevarlo a otra parte; entonces el átomo queda con una carga positiva en exceso, o sea con carga eléctrica positiva y el electrón que sacamos tiene una carga eléctrica negativa. Si pensamos en una pila eléctrica, sabemos que tiene un polo positivo y otro negativo; siempre, para poder tener electricidad necesitamos una carga o polo positivo y otro negativo. Pero todo esto será estudiado en detalle más adelante; debemos volver a ocuparnos de la materia.

Tipos de materia

Todos los cuerpos, sean sólidos, líquidos o gaseosos, están formados por átomos. En los sólidos los átomos están fuertemente ligados por la cohesión, de ahí que los cuerpos sólidos mantengan su forma. En los líquidos la cohesión es menor, de ahí que los líquidos se expandan hasta ocupar la parte inferior del recipiente, el cual puede ser abierto en su parte superior. En los gases la cohesión es muy débil, y se expanden en todas direcciones, pudiendo guardarse únicamente en recipientes cerrados. El aire no está en un recipiente cerrado, pero se mantiene formando una cáscara alrededor del globo terráqueo en virtud de la atracción de la tierra, la misma que hace caer los cuerpos mediante la atracción que ejerce sobre ellos.

La constitución del átomo es lo que diferencia a los cuerpos. Se llaman cuerpos simples los que tienen átomos de una misma clase, como el cobre, el sodio, el oxígeno, etc. Se llaman compuestos aquellos que contienen átomos de diferentes clases, como la sal de cocina, por ej., que tiene átomos de cloro y de sodio. Se conocen unos 100 cuerpos simples, o sea que hay unas 100 clases distintas de átomos. ¿Cuál es la diferencia entre ellos? La figura 2 nos aclara algo esta pregunta; vemos allí una serie de círculos concéntricos, que se llaman órbitas, y que son las trayectorias de los electrones. La diferencia entre los átomos es precisamente que todas las sustancias o materias simples tienen distinta cantidad de electrones. Por ejemplo: el hidrógeno, el cuerpo más simple, tiene un solo electrón libre o giratorio, el helio, otro gas, tiene dos electrones, el neón tiene 10, el cobre tiene 29, etc.

Lo curioso de esta diferenciación de la materia sobre la base de la cantidad de electrones, es que también varía la cantidad de órbitas, y que cada órbita admite una cierta cantidad de electrones como máximo; cuando está completa, los electrones restantes se ubican en la órbita siguiente. Así, la primera órbita admite como máximo 2 electrones, la segunda 8, la tercera 18 y las cuarta y quinta no tienen máximo conocido por no haberse descubierto hasta el presente átomos que las tengan completas.

Volviendo a la cantidad de electrones, el hi-

drógeno y el helio, con uno y dos electrones respectivamente, tendrán en sus átomos una sola órbita. El litio, que tiene 3 electrones, tiene la primer órbita completa y un electrón en la segunda órbita. El neón, con 10 electrones, también se arregla con 2 órbitas, la primera completa con 2 electrones y la segunda también completa con 8 electrones. El cobre, con 29 electrones tiene completas las tres primeras órbitas ($2 + 8 + 18 = 28$) y sobra un electrón que está solo en la cuarta órbita.

En realidad, las órbitas no están tan definidas en la práctica, sino que se forman en subcapas o subniveles, como lo muestra la figura 3. Estas subcapas están muy próximas entre sí, y ocurre que la primera órbita no necesita subdivisión, o sea que no tiene subcapas. La segunda órbita admite dos subcapas, la tercera admite 3, y la cuarta, 4. Este detalle tiene mucha importancia para el estudio de la composición y la energía nuclear, y nosotros sólo necesitamos encarar superficialmente el tema, por lo cual se ha hecho una mención al paso.

Conductores y aisladores

Sabemos que hay cuerpos buenos conductores de la electricidad y que los hay malos conductores. Hay otros que la conducen regularmente bien, o podría decirse que son semiconductores; esta última denominación merece un estudio

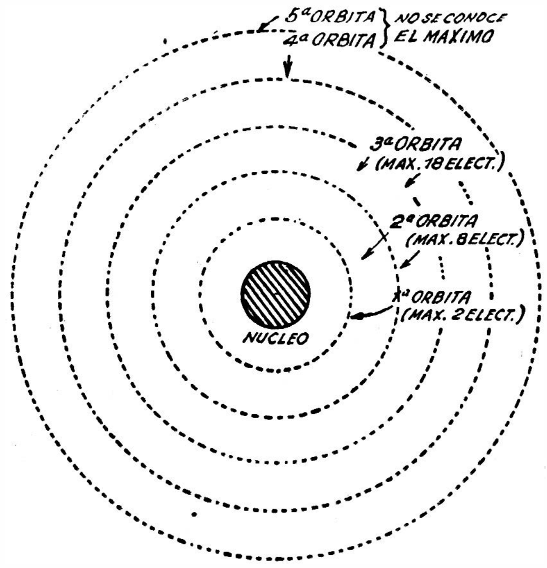


FIG. 2. — Los electrones móviles se distribuyen en órbitas.

aparte, pues es el motivo central de todo nuestro estudio. Es interesante saber el porqué de la distinta conductibilidad eléctrica de los cuerpos, o sea conocer el motivo por el cual algunos son buenos conductores y otros no. Tomemos el cobre, muy buen conductor, y observemos la

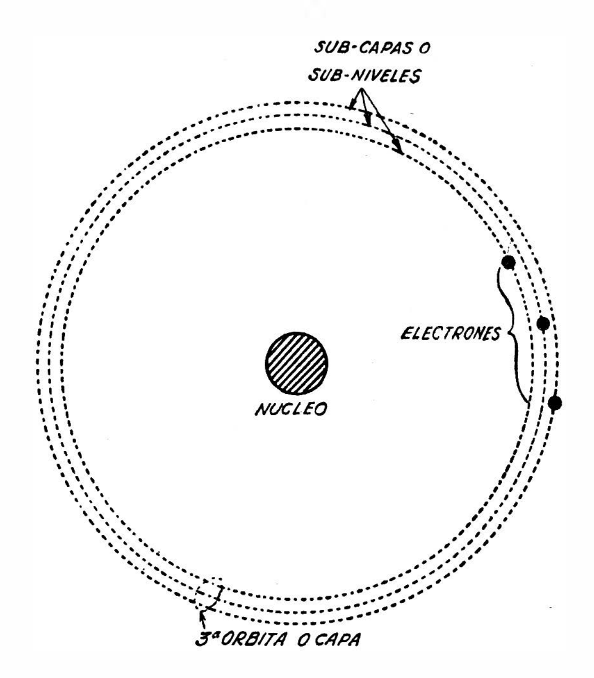


FIG. 3. — Las órbitas tienen sub-capas o sub-niveles.

configuración de su átomo en la figura 4. El cobre tiene 29 electrones y se distribuyen completando las tres primeras órbitas, como ocurre siempre en los átomos de todas las sustancias; cada órbita inferior debe quedar completa para comenzar a ocupar la que sigue hacia afuera. Nos queda entonces un electrón sobrante que está en la cuarta órbita. Y si pensamos que por algún procedimiento conocido puede sacarse ese electrón de la cuarta órbita, sucede que por estar solo sale con facilidad. Precisamente la diferencia entre los cuerpos conductores y los aisladores es que los electrones puedan ser sacados de los átomos con facilidad o con dificultad. En el caso del cobre, entonces, como tiene un electrón sobrante en la cuarta órbita, será muy buen conductor. Un cuerpo que tenga completa la última órbita ocupada, será mal conductor de la electricidad; ejemplo, el criptón con 28 electrones, uno menos que el cobre, con tres órbitas completas.

Lo dicho nos permite hacer una interesante apreciación, pues sabiendo el número de electrones de una materia, siendo ella sustancia simple, podemos saber si es buena o mala conductora de la electricidad siguiendo las normas dadas en la figura 2. Cuanto más completa quede la última órbita usada, peor conductor de la electricidad será ese cuerpo, y viceversa, será

tanto mejor conductor cuanto más incompleta quede la última órbita.

Y bien, conducir la electricidad significa que los electrones corren de átomo en átomo por todo el cuerpo. Para eso hace falta arrancarlos de un átomo e inyectarlos en otro, arrancarlos de este segundo e inyectarlos en un tercero y así sucesivamente. ¿Es fácil arrancar electrones de un átomo? Podríamos contestar con otra pregunta: ¿Puede hacerse arrancar a un automóvil y hacerlo marchar? Claro que se puede, mediante un motor que consume combustible. Y para arrancar electrones habrá que consumir también algo, o, dicho en otros términos, habrá que gastar energía. Pero este asunto es demasiado importante para que lo tratemos tan a la ligera.

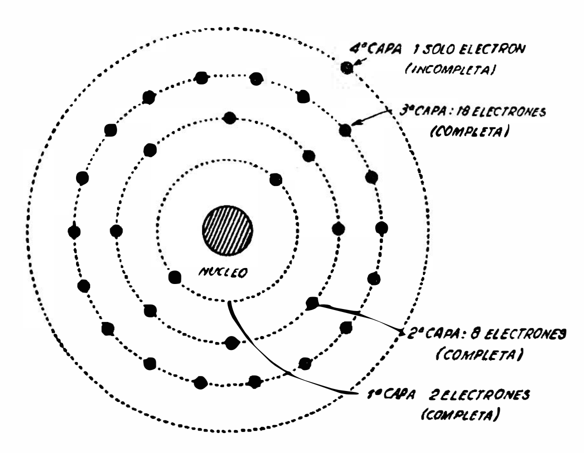


Fig. 4. — Representación del átomo de cobre con número atómico 29.

Hablemos sobre la energía

Volvamos a nuestro átomo, con sus órbitas, en la que giran electrones. El núcleo central del átomo ejerce una fuerza de atracción sobre esos electrones, que impide que salgan por sí mismos de sus órbitas, de la misma manera como el sol ejerce atracción sobre los planetas que giran en su derredor, impidiendo que se alejen y la tierra ejerce atracción sobre las cosas que están en su superficie, impidiendo que la fuerza centrífuga las despida hacia afuera.

Una fuerza puede ser vencida por otra fuerza mayor, quiere decir que si queremos sacar un electrón de su órbita necesitamos ejercer una fuerza que venza la atracción del núcleo. La figura 5 nos quiere expresar esto, y hemos supuesto que la fuerza atractiva del núcleo está representada por un resorte y que la fuerza que sacará al electrón de su órbita es un minúsculo tractor que tira hacia afuera. Ese tractor imaginario gastará nafta, por ejemplo, pero esa nafta representa una cantidad de energía. Y ahora viene lo curioso de estos fenómenos en el átomo; hay que imaginar que la nafta que consume nuestro diminuto tractor viene en envases tales que no podemos usar una parte de su contenido, sino un envase completo. Si no nos alcanza un envase necesitamos dos, o tal vez tres, etc., pero nunca fracciones de envase, no podemos usar la mitad o algo así. En los estudios de energía nuclear, la energía usada es pequeña, pero mucho más lo son los electrones, de modo que, en proporción, son cantidades muy grandes. Esas cantidades fijas de energía se llaman *cuantos*, y así podemos usar un cuanto, dos cuantos, etc.,

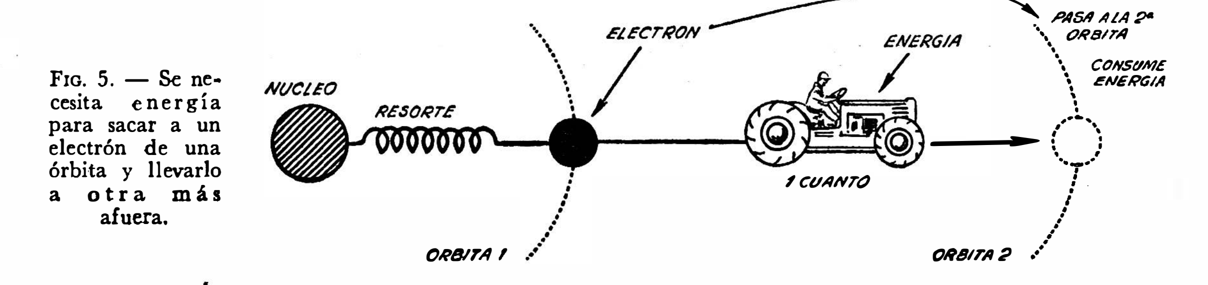


Fig. 5. — Se necesita energía para sacar a un electrón de una órbita y llevarlo a otra más afuera.

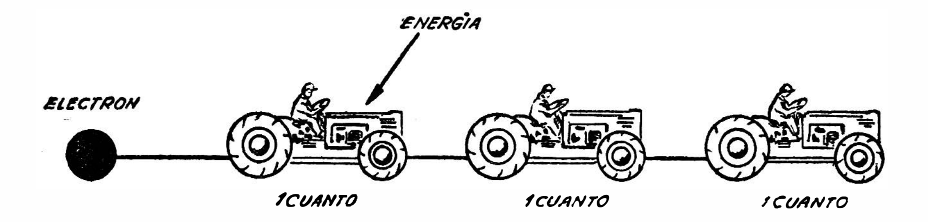


Fig. 6. — La energía en el átomo se distribuye en cantidades fijas o *cuantos*.

no existiendo fracciones del cuanto. La figura 6 nos quiere ayudar a fijar esta idea en forma definitiva, suponiendo que un tractorcito desarrolla solamente un cuanto de energía, y que para arrastrar al electrón necesitamos tres tractorcitos.

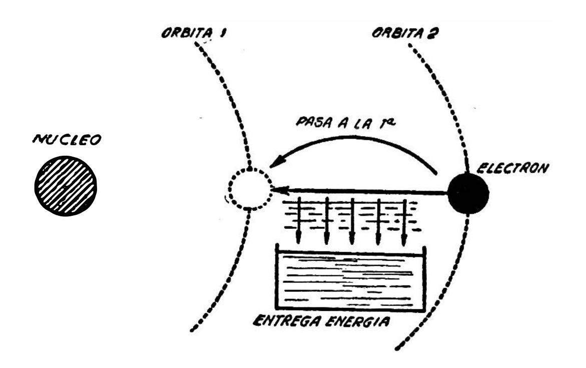


FIG. 7. — Si un electrón pasa a una órbita más interior cede energía.

Si dos fueran poco y tres mucho, debemos usar tres, porque no existen pedazos de tractor que funcionen sin estar completos.

¿Y qué pasa si en lugar de querer sacar un electrón hacia afuera, por ejemplo, de la órbita uno a la órbita dos, ocurre a la inversa, o sea que ese electrón pasa de la dos hacia la uno? La figura 7 nos ilustra sobre el caso. Ocurre que el electrón entrega energía, también en cantidades fijas, en cuantos, que se puede aprovechar para otra cosa. O sea que para arrancar un electrón gastamos energía, y para inyectarlo hacia el interior recuperamos energía.

Y como la energía en estos casos está acondicionada en cantidades fijas, redondas, sin fracciones, o sea directamente en *cuantos*, se habla de niveles de energía. Se dice nivel uno, nivel dos, etc. No puede haber un nivel 2,5 sino que hay el nivel 2 y el nivel 3, etc. Los electrones tienen entonces ciertos niveles de energía y para moverlos hay que alterar esos niveles. Veamos si todos los cuerpos son iguales o diferentes en este aspecto de los niveles de energía.

Ocurre que no sucede tal cosa. Los cuerpos, es decir los átomos de los cuerpos presentan características diferenciadas, que se ilustran en la figura 8. Se distinguen tres tipos de cuerpos que tienen sus niveles de energía en formas distintas. Veamos cuáles son esas diferencias.

Los cuerpos que están formados por átomos diferentes se llaman *compuestos*, y para formarlos debemos mezclar sustancias simples. Por ejemplo, para tener sal de cocina debemos mezclar átomos de cloro y átomos de sodio, hacer una combinación entre ambos. Para eso se necesita cierta cantidad de energía, pero pequeña. Por eso, para hacer combinaciones de átomos a los efectos de formar cuerpos compuestos, usamos los niveles bajos de energía, los más pequeños. Para arrancar electrones de los átomos necesitamos gastar energía, y sabemos que en los cuerpos malos conductores se gasta más cantidad y en los buenos se gasta menos. Luego, los niveles más altos de energía se destinan a la conducción eléctrica (arranque de electrones).

Y bien, los cuerpos presentan particularidades curiosas. Hay un tipo de cuerpos que presentan zonas de energía netamente separadas, las zonas de combinación y de conducción, habiendo entre esas dos zonas una grande que no tiene niveles de energía existentes, como si fueran prohibidos. Otros presentan también tres zonas definidas, pero la zona prohibida es mucho más chica, y hay una tercer clase, en la cual no hay zona prohibida y se confunden todos los niveles de

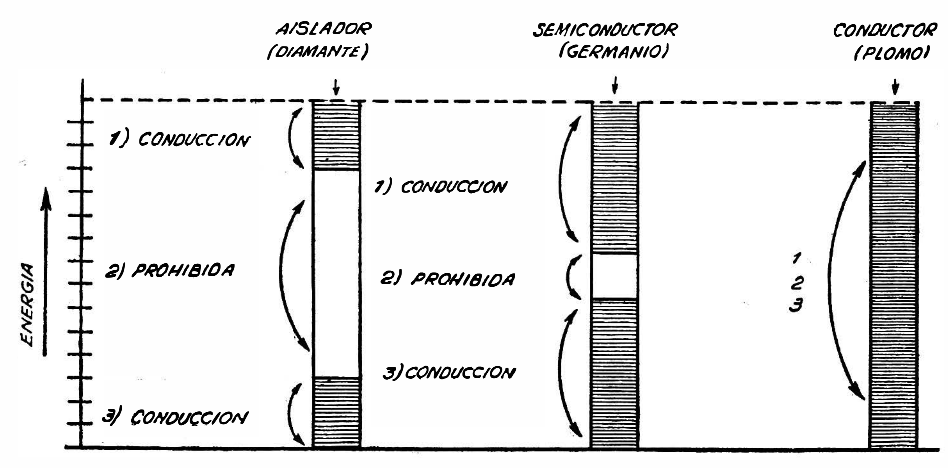


FIG. 8. — Diferentes niveles de energía según el tipo de cuerpo.

energía como si fuera fácil combinarlos o hacer conducir la corriente eléctrica.

En otras palabras, para impulsar electrones y producir corriente eléctrica tenemos que pasar del borde superior de la banda de combinación hasta el borde inferior de la banda de conducción; para ello se requiere una cantidad de energía, dada por la altura de la zona prohibida. Es evidente, observando la figura 8, que en un

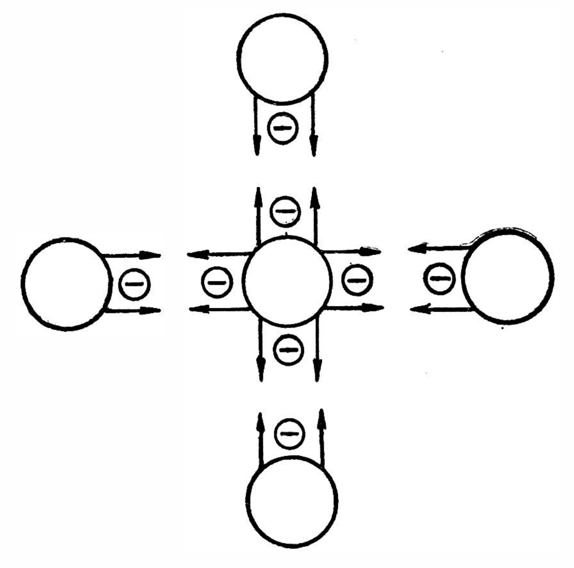


FIG. 9. — Estructura rígida de parte de un átomo de germanio puro.

aislador, la cantidad de energía necesaria para lograr desplazamiento de electrones es muy grande, mientras que en un conductor sólo hace falta la energía de movimiento, pues no hay salto entre esas bandas. En los semiconductores hay que saltar la banda prohibida, pero ella es de mucho menor espesor que en los aisladores.

Tomemos como ejemplo tres cuerpos que tienen la misma valencia química, es decir el mismo valor en las combinaciones químicas: el carbono puro o diamante, el germanio y el plomo, con valencia química de 4. El primero es aislador perfecto, el segundo es semiconductor y el tercero es buen conductor de la electricidad.

Lo antedicho nos habla de que de acuerdo con la distribución de los niveles de energía en sus átomos, en el diamante será muy difícil arrancar electrones, en el germanio será un poco más fácil, pero en el plomo esa operación será mucho más posible. El cuerpo intermedio, o sea el *germanio*, presenta la particularidad de que, por tener una estrecha banda prohibida, pero la tiene, permitirá hacerlo más o menos conductor con cierta facilidad, es decir con problemas de escasa cantidad de energía. Este es el caso que nos interesa en este libro, y desde ya advertimos que el *silicio* es otro cuerpo que presenta características similares. La corrección de sus características de conductibilidad eléctrica se hace mediante el agregado de pequeñísimas cantidades de impurezas en la masa del cuerpo. Un tipo de impurezas lo hace más conductor y otro tipo de impurezas lo hace más aislador; pero es conveniente advertir que esta cuestión debemos tratarla más detalladamente, pues tiene una importancia capital en el estudio de los transistores, minúsculos dispositivos construídos con trozos de cuerpos semiconductores.

El germanio cristalino

Henos aquí frente a una materia que posee propiedades singulares, las que han permitido crear nuevos dispositivos de gran aplicación en la electrónica moderna. El germanio, al cual nos estamos refiriendo, cuando se halla en estado sólido, es cristalizado, y sus cristales se disponen de tal manera que forman una estructura especial. Veamos algo sobre la misma.

Digamos, en primer término, que el átomo de germanio tiene un número atómico de 32, o sea que hay 32 electrones en órbita. Si recordamos la figura 2, podemos afirmar que las tres primeras órbitas estarán completas y que habrá cuatro electrones en la cuarta órbita. Son los electrones de combinación que se representan en la figura 9, alrededor del círculo central al que suponemos formado por el núcleo y las tres órbitas completas. Cualquier efecto adicional que deseemos obtener se basará en la movilización de algunos de esos cuatro electrones externos, pues los otros 28 podemos considerarlos inamovibles. En esta figura hemos dibujado otros cuatro átomos vecinos en forma incompleta, al solo efecto de mostrar las flechas que se enfrentan con las del central. Estas flechas representan las fuerzas que mantienen ligados los átomos unos contra otros. Obsérvese además que los electrones libres del átomo central están enfrentados con electrones libres de los átomos circundantes, de modo que aparecen ligados o vinculados 8 electrones libres al átomo central, 4 propios y 4 vecinos. Si tomáramos otro grupo formado por un átomo con los circundantes, siempre encontraríamos 8 electrones libres ligados.

La consecuencia de esa ligazón de los electrones libres es que el germanio no es buen conductor de la corriente eléctrica. Para lograr que lo sea hay que romper la ligazón o los vínculos entre los electrones libres. Supóngase que por acción del calor o de otra manera se consigue romper una ligadura, como se muestra en la figura 10. Esa rotura hace que un electrón quede libre

y pueda circular por la materia, con lo que hemos obtenido la posibilidad de circulación que convierte al germanio en conductor. El lugar donde se rompió la ligadura y se fue un electrón deja un exceso de una carga positiva, puesto que había equilibrio y ahora falta una carga negativa. Llegamos a la situación indicada en la figura 10. Un átomo queda con un exceso de carga positiva y otro átomo tiene adicionada una carga negativa o electrón. El *agujero* donde se rompió la ligadura se suele llamar *laguna.*

Y ahora viene lo que hará pensar a los que conocen electricidad. Se ha admitido durante muchos años que los electrones libres pueden desplazarse por la materia conductora, y ese desplazamiento es la corriente eléctrica. Pero resulta que las lagunas o agujeros también se desplazan por la materia, constituyendo también una corriente eléctrica. ¿Hay dos corrientes eléctricas diferentes? Veamos la figura 11.

Corrientes directa e inversa

Hemos tomado varios átomos para poder apreciar mejor lo que ocurre. De todos los representados elegimos el A, el B y el C para nuestra explicación. Supongamos que la ligazón se rompe en el C y aparece allí una laguna, con lo que hay un electrón excedente que se va. La laguna formada en el C ejerce influencia en el átomo B y rompe en él una ligazón para sacarle

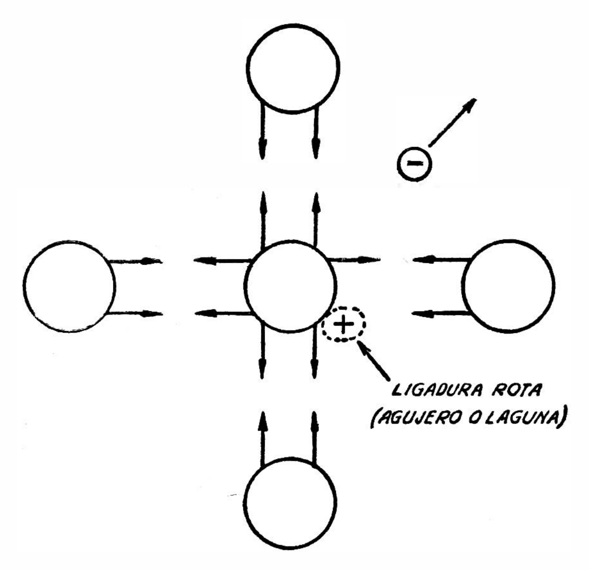


FIG. 10. — Al romperse una ligadura queda un electrón libre.

un electrón y completarse; un electrón pasa del B al C y la laguna ahora queda en el B. El fenómeno se repite, la laguna del B rompe ligazón en el A, del cual sale un electrón para completar la laguna del B y ahora la laguna ha quedado en el A.

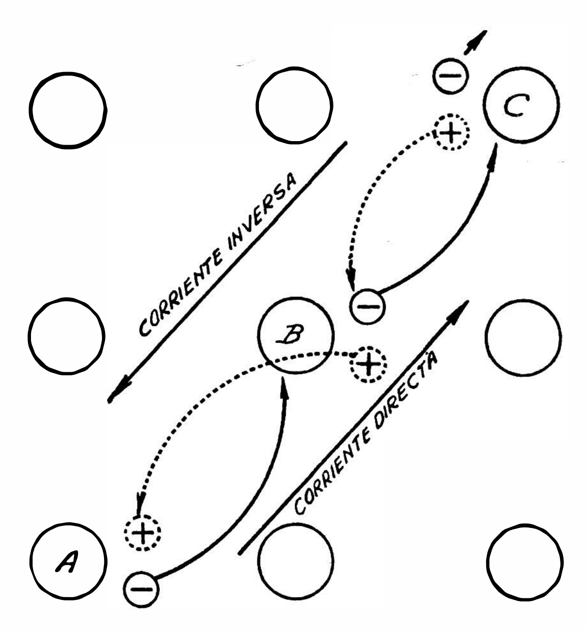


FIG. 11. — El desplazamiento de electrones va dejando cargas positivas libres, como si hubiera dos corrientes circulantes.

Observemos los movimientos de los electrones: llevan la dirección que va de A al B y de éste al C. Observemos también que la laguna estaba primero en el C, luego en el B y finalmente en el A. ¿No es esto equivalente a decir que una laguna se desplazó en la dirección CBA? Y si los electrones son cargas eléctricas negativas que se desplazan, las lagunas son también cargas eléctricas, pero positivas, que podemos considerar que también se desplazan.

Pero en electricidad siempre habíamos considerado a la corriente eléctrica como un desplazamiento de electrones y ahora tenemos que admitir que hay otra clase de corriente eléctrica, el desplazamiento de lagunas o cargas positivas. Se habla entonces de corriente *directa* (la de electrones) y de corriente *inversa,* la de lagunas.

Adviértase que en electricidad, cuando teníamos dos corrientes circulando en sentido contrario, podían anularse, bastando para ello que fueran iguales. Si eran distintas, restábamos sus valores y prevalecía el excedente de la mayor sobre la menor, es decir la diferencia, que circulaba con el sentido de la mayor. Ahora no ocurre lo mismo, las dos corrientes circulan en sentido contrario pero no se anulan ni se restan, más bien se complementan, casi podríamos decir que se suman. Una es consecuencia de la otra, son de diferente naturaleza, una lleva cargas negativas y la otra cargas positivas, sin cance-

lación posible. En resumen, que debemos admitir un nuevo fenómeno eléctrico sin tratar de interpretarlo con los antiguos conocimientos sobre electricidad.

La corriente directa, entonces, está constituída por el desplazamiento de cargas negativas, luego se dirigirá al polo positivo de una fuente eléctrica. La corriente inversa es un desplazamiento de cargas positivas y en consecuencia se dirigirá al polo negativo de la fuente, sea la misma u otra. Este es otro detalle que hará meditar a los lectores aferrados a los viejos conceptos de la electricidad, pues siempre se había admitido que la corriente iba del polo positivo al polo negativo, y eso es cierto para la corriente inversa, para el desplazamiento de lagunas y no para el desplazamiento de electrones. Lo que ocurre es que antiguamente se hacía una convención y luego se presentó la necesidad de modificarla, tal como fue el caso del cambio de mano en el tránsito; una vez hubo que adoptar la circulación por la derecha para ponernos a tono con los demás países del mundo, dejando olvidadas las razones que habían impuesto la circulación por la izquierda; recuérdese que era un problema del látigo de los cocheros en la época de la colonia...

Germanio tipos N y P

Ahora viene lo más importante de todo lo que hemos dicho, que es tratar de obtener variedades

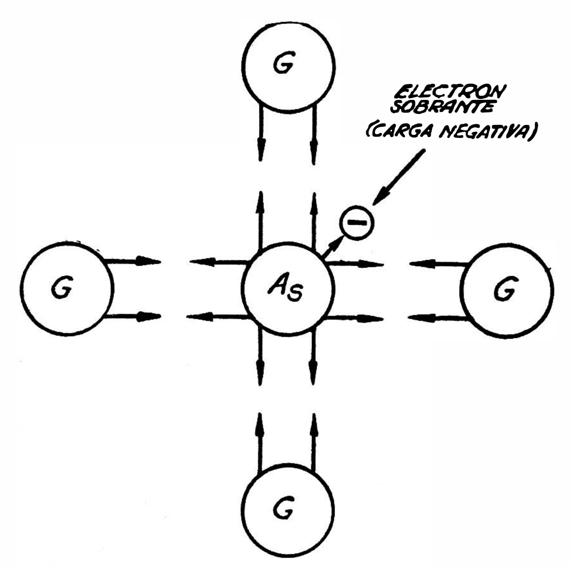


Fig. 12. — Parte de un átomo de germanio con impureza de arsénico.

de germanio que tengan naturalmente electrones libres o agujeros libres, o sea cargas negativas o cargas positivas libres. Desde ya podemos adelantar que al primero se lo denominará *tipo N* (de negativo) y al segundo *tipo P* (de positivo). Eso se ha logrado inyectando en la masa de

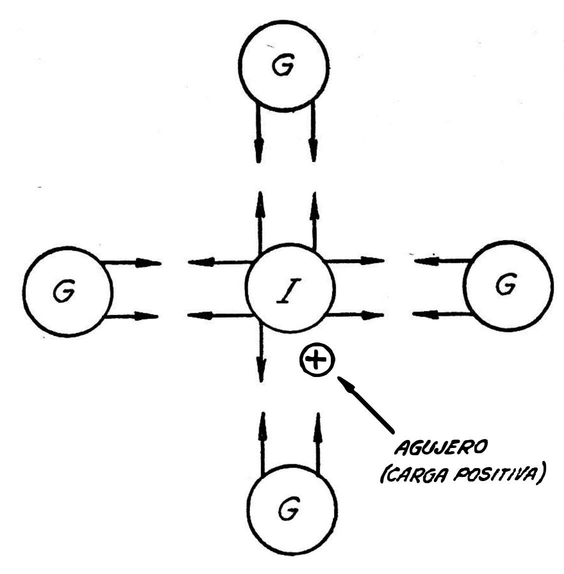


Fig. 13. — Parte de un átomo de germanio con impureza de indio.

germanio una pequeñísima cantidad de impurezas, de sustancias extrañas, en proporción de una parte en 10 millones. Esas impurezas son comunmente el *arsénico* y el *indio*, dos sustancias conocidas.

Veamos primero lo que pasa con el *arsénico*. Este cuerpo tiene 5 electrones libres en la órbita externa, y si colocamos un átomo de arsénico entre unos cuantos de germanio, se produce lo que marca la figura 12. Como el germanio tenía solamente 4 electrones libres, las ligazones con los átomos vecinos se cumplían según la figura 9. El átomo de arsénico dejará un electrón libre o sobrante, capaz de circular. Se mantiene allí junto al átomo por la acción de la fuerza de atracción de éste, pero es fácil sacarlo de allí y hacerlo circular, o sea producir corriente eléctrica. El tipo de corriente es el clásico y más conocido (la corriente directa), el que se produce por circulación de cargas negativas, de ahí el nombre de tipo N que se da al germanio con impurezas de arsénico. Ejemplo de impureza tipo N es también el *antimonio*.

Ahora tomemos el otro tipo de impureza, el *indio*, y veamos en la figura 13 lo que ocurre. El indio tiene 3 electrones en la órbita externa, de modo que si colocamos un átomo de indio en el centro de un grupo de átomos de germanio, los 4 electrones libres de cada átomo de germanio encontrarán que al indio le falta un electrón

para enfrentar; ese átomo robará un electrón de algún átomo vecino rompiendo una de sus ligaduras, con lo que se produce el agujero o laguna. Ya sabemos entonces qué quiere decir germanio tipo P. Hay lagunas libres que pueden hacerse circular, formándose una corriente inversa, o sea la que resulta de la circulación de cargas eléctricas positivas.

No solamente el indio tiene esta propiedad; también la ofrecen el *galio*, el *boro* y otros. Y ahora sabemos qué significa germanio tipo N, el que tiene impurezas que producen electrones libres, y germanio tipo P, el que tiene impurezas que producen agujeros libres. Reuniendo en un mismo trozo de germanio impurezas de los dos tipos se puede producir cancelación del fenómeno, pues los electrones libres pueden llenar los agujeros libres, si hay igual cantidad de unos y otros. Pero más interesante es cuando se juntan arrimados dos trozos de germanio, uno tipo N y otro tipo P, sin que estén mezclados. Aquí viene lo trascendental; ese arrime se llama *juntura*, y es la base en que apoyan su funcionamiento los diodos y los transistores. Una juntura de germanio tipo P con germanio tipo N es una juntura P-N y tenemos un diodo. Si agregamos un tercer trozo de germanio, por ejemplo uno P, uno N y otro P, tenemos un transistor P-N-P, y si ponemos un tipo N con uno P y con otro N tenemos un transistor tipo N-P-N. Pero esta última frase nos adelanta demasiado en nuestra explicación; se ha puesto para que el lector adivine ya que estamos llegando a la parte interesante de nuestro trabajo. El estudio de las junturas de germanio de las dos clases es entonces un punto fundamental.

Día 2

Ya tenemos una noción sobre la constitución íntima de la materia, y la misma nos ha permitido modificar ciertos conceptos clásicos que han quedado anticuados. La Electricidad no es otra cosa que el desplazamiento de cargas eléctricas, y hemos visto cómo se pueden presentar dos clases de corriente eléctrica, pese a que generalmente conocíamos solo una. También ha quedado un poco modificado el concepto sobre cuerpos buenos y malos conductores de la electricidad y sobre la razón de esa propiedad, que no es otra que una distribución de los electrones en la última órbita o cáscara del átomo.

Si hemos fijado bien todos esos conceptos podremos entender claramente las propiedades que han permitido arribar a la maravillosa creación de los transistores, esos minúsculos trocitos de materia que tienen la única condición de que se junten, para formarlos, tres trocitos diferentes; y ni siquiera se necesita que sean muy diferentes, pues un análisis químico probablemente diría que son iguales, pues las impurezas que contienen son tan pequeñas en proporción, que escapan a una distinción simple. Pero antes de entrar a ocuparnos de los transistores nos falta dar el segundo paso: describir y comprender las junturas de cristales de germanio, con las que podemos hacer diodos rectificadores. Entremos pues en el tema de esta jornada.

JUNTURAS P-N — DIODOS

La juntura P-N

Ya conocemos dos clases de germanio impuro: el tipo P y el tipo N. Tipo P es aquel que contiene pequeñísimas proporciones de indio, galio o boro, cualquiera de los cuales tiene solamente 3 electrones en la órbita externa. La consecuencia es que se producen agujeros o lagunas libres, o sea que hay cargas positivas que pueden desplazarse en la masa de germanio. La P es la inicial de la palabra positivo, y de ahí el nombre. El otro tipo de germanio impuro, el N, es el que se prepara con pequeñísimas proporciones de arsénico o antimonio, sustancias que tienen 5 electrones libres en la órbita o cáscara externa. Se producen así electrones libres, o sea cargas negativas que pueden circular, y eso dio el nombre de N a este tipo de germanio.

Ahora tomemos dos trozos de germanio, uno tipo P y otro tipo N, y hagámosles una cara plana para arrimarlos. Tenemos una juntura P-N, y veamos lo que sucede. La figura 14 nos quiere mostrar el balance de cargas eléctricas que hay en esa juntura. En el germanio tipo P hay lagunas o sea cargas positivas libres y por consiguiente hay también átomos que tienen prevalencia de carga negativa (los marcamos como circulitos). En el otro lado de la juntura, germanio tipo N, hay electrones libres, y por consiguiente hay átomos con prevalencia de cargas positivas (son los circulitos con el signo + adentro).

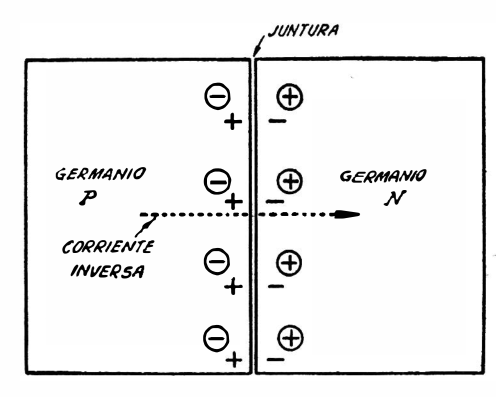


Fig. 14. — Cargas eléctricas en una juntura de germanios tipos P y N.

Cualquier estudiante de Electricidad diría, sin pensar mucho, que la situación se normaliza de inmediato, pues los electrones libres de la derecha saltarían a neutralizar las cargas positivas de la izquierda, y los átomos positivos serían

neutralizados por los negativos de la izquierda. Pero la cosa no es tan sencilla y, por supuesto, no ocurre como lo dice esa suposición.

La juntura es una barrera de potencial, y si bien los electrones libres de la derecha son atraídos por las cargas positivas de la izquierda, también esos electrones son repelidos por los átomos negativos de la izquierda, y se produce una especie de equilibrio, con fuerzas eléctricas encontradas de atracción y de rechazo. Así las cosas, parecería que no puede haber paso de cargas eléctricas a través de la juntura; sin embargo, algunas cargas pasan. El fenómeno es algo curioso, y trataremos de explicarlo en la forma más sencilla. La existencia de impurezas ha provocado la rotura de algunas ligaduras o tensiones en el cristal, tal como fue explicado en la jornada anterior. Las fuerzas eléctricas actuantes en la juntura rompen algunas ligaduras atómicas, con lo que aparecen nuevas lagunas. Si revisamos nuevamente la figura 11 recordaremos que la corriente circulante en estos casos aparece como un desplazamiento aparente de cargas, y se la llamó *corriente inversa.* Es decir que el desplazamiento de lagunas absorbe electrones y ello produce nuevas lagunas y, así siguiendo, podemos dibujar una flecha que indica una circulación de corriente contraria a la normal, pues va desde las cargas positivas hacia las cargas negativas, si consideramos los signos sueltos, sin circulitos. Tal corriente es la que se llama *inversa,* es lógicamente pequeña, pero es un real salto de la juntura. La figura 15 nos quiere mostrar una justificación de esta corriente inversa, como si electrones saltaran la juntura en la dirección de la flecha, pero repasando todo lo explicado sabemos que no se trata de una conducción de corriente en el sentido más conocido en Electricidad, sino de una especie de *generación* de corriente en la juntura, como si allí hubiera una pila eléctrica. Esta pila se ha dibujado en la figura 15, y es ficticia.

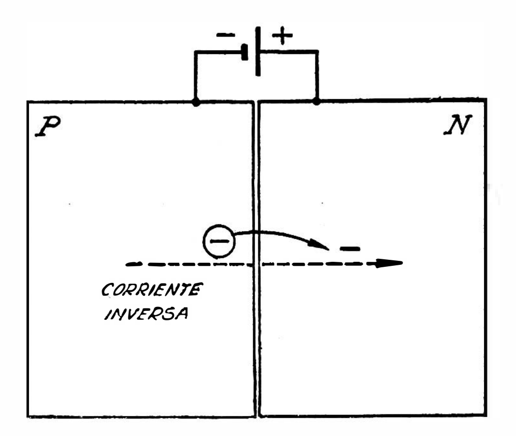


Fig. 15. — Corriente inversa en la juntura de germanio.

Si hacemos un gráfico con los valores de esa corriente inversa, tomando sus valores en el eje vertical o de *ordenadas,* y midiendo en el eje horizontal o de *abscisas* a las fuerzas eléctricas presentes, representadas por el potencial eléctrico, resumiendo, corriente I y potencial E, el resultado se ve en la figura 16. La corriente es muy pequeña, del orden de los millonésimos de Amper (microamper), y aumenta muy poco al aumentar el potencial, pero si se hace presente un potencial elevado se nota a partir del punto A un brusco crecimiento de la corriente inversa. Tal corriente se llama ahora *corriente de Zener,* y se justifica porque las fuerzas eléctricas elevadas han roto la estructura del edificio atómico y se han formado numerosas lagunas, las que, a su vez, arrancan electrones de otros átomos, y así siguiendo. Todo esto ocurre sin que el cristal pierda su estructura cristalina ni su composición, solo se han roto ligaduras, y además, nada tiene que ver la propiedad conductora de la sustancia, pues esta corriente inversa, chica o grande, circula en un sentido contrario al habitual de conducción, y en la juntura de germanios P y N, siempre va del cristal P al cristal N.

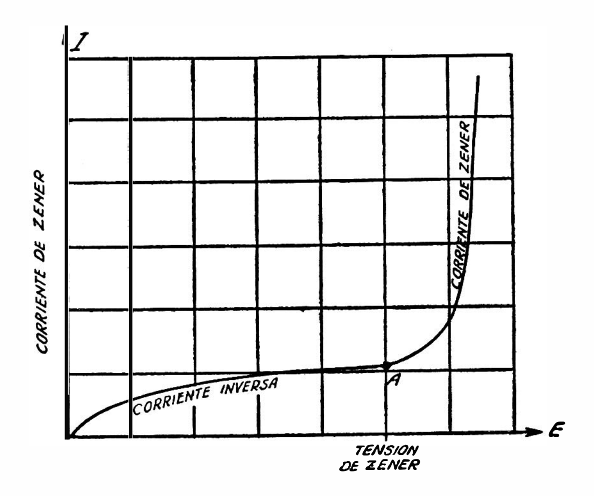


Fig. 16. — Representación gráfica de la corriente inversa.

La corriente de Zener se produce para un valor de la tensión, punto A, que se llama *tensión de Zener,* y que marca el límite de funcionamiento normal de la juntura P-N. Sobrepasado ese límite, circula una corriente inversa que perjudica a la materia.

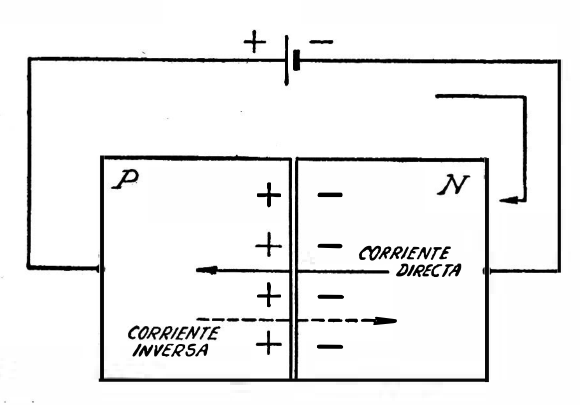


FIG. 17. — El diodo o juntura P-N con polarización directa.

Efecto de rectificación - Diodo

La juntura de dos trozos de germanio diferentes, uno P y otro N, nos ha dado una especie de pila eléctrica. La polarización de ambos signos en las caras enfrentadas de la juntura hace pensar inmediatamente en lo que ocurrirá si acoplamos una fuente externa cerrando el circuito. Es lo que nos muestran las figuras 17 y 18. La figura 17 muestra la conexión de una pila con su polaridad coincidente con las letras P y N que corresponden a los tipos de germanio, mientras que la figura 18 muestra el caso inverso, es decir, cuando la polaridad de la pila es inversa a la que indican esas letras.

En ambos casos tenemos la corriente inversa que representamos en la figura 16, y que, bajo circunstancias especiales puede elevarse bruscamente de valor y adquirir la característica de corriente de Zener. Eso independientemente de lo que pase con el agregado de la pila eléctrica externa. Veamos ahora esto último.

En la juntura se han dibujado los electrones libres y las lagunas libres, de acuerdo con lo visto en la figura 14. Cuando la polaridad de la pila es la del esquema de la figura 17, coincidente con la polaridad de los cristales de germanio, su potencial eléctrico ayuda a los electrones libres a saltar la barrera de la juntura, y se establece una corriente eléctrica normal, de conducción. Esta corriente, por ser desplazamiento de electrones, tiene el sentido que va del polo negativo al positivo, y dentro del cristal, lógicamente, el que va del cristal N al cristal P. Hay dos corrientes superpuestas, una directa o de conducción, de valor elevado, y otra inversa, de generación, de valor pequeño. El resultado es un remanente grande de corriente directa.

Si ahora conectamos la pila al revés, según el esquema de la figura 18, el potencial de la pila ayuda a impedir el salto de la juntura por parte de los electrones, ya que ellos son más bien retenidos por el polo positivo de la pila y rechazados por el negativo que está en la cara opuesta. La corriente directa no puede circular, o sea que no hay corriente de conducción; la otra corriente, la inversa o de generación subsiste, pues no depende de la fuente exterior, pero sabemos que es pequeña.

Podemos hacer un gráfico de la corriente circulante, que incluya las dos clases existentes, y es lo que nos muestra la figura 19. Como la pila ficticia que hace circular a la corriente inversa (Fig. 15) tiene polaridad contraria a la que hace circular corriente directa (Fig. 17), debemos tomar en el gráfico dos alas diferentes, o sea considerar una tensión positiva y otra negativa, lo mismo que con respecto a las corrientes.

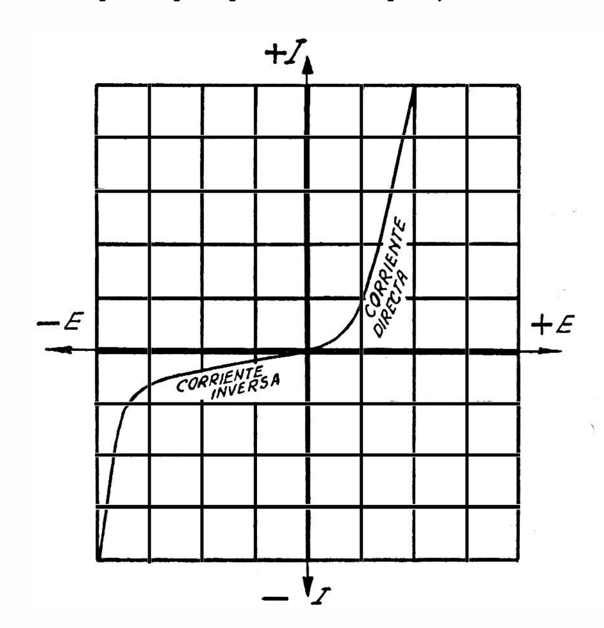


FIG. 19. — Representación gráfica de las dos corrientes en el diodo.

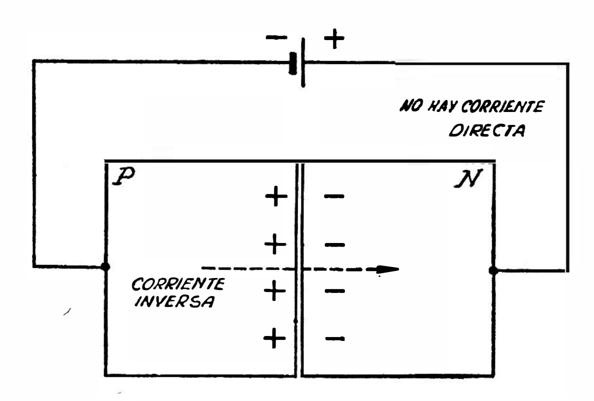


FIG. 18. — El diodo con polarización inversa.

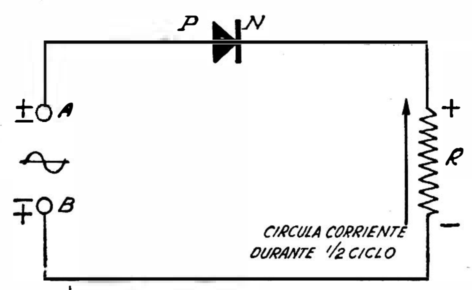


FIG. 20. — Circuito simple de un rectificador con un diodo.

En la zona de las tensiones y corrientes positivas tenemos la corriente directa, y en la zona de las tensiones y corrientes inversas o negativas, tenemos la corriente de generación o inversa, la cual es pequeña mientras no se supere el punto crítico A (Fig. 16) en que se rompen las ligaduras atómicas.

Y bien, si tenemos un dispositivo que admite circulación de corriente solamente cuando la polaridad externa es una determinada y no cuando la invertimos, tenemos un rectificador, también llamado *diodo*. Veamos su aplicación, ayudados por la figura 20. Para simplicar el dibujo, a la juntura de dos trozos de germanio lo representaremos con el símbolo del rectificador, que es un triangulito con una raya vertical apoyada en el vértice. Las letras corresponden a todas las figuras anteriores, pues en el rectificador el polo positivo corresponde a la polaridad positiva del cristal, o sea al tipo P. Para que circule corriente necesitamos aplicar una fuente y cerrar el camino de circulación, lo que se representa con un resistor R, o sea el circuito de consumo.

La fuente nos suministra una señal o tensión alternada, que sabemos tiene la propiedad de

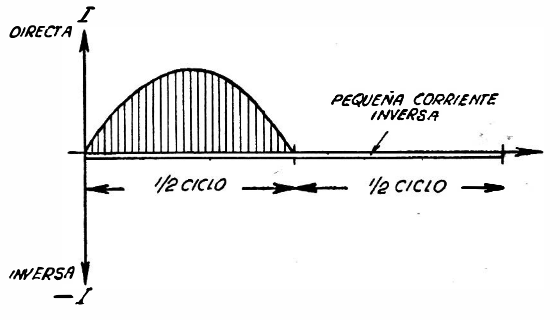


FIG. 21. — Efecto de la rectificación durante un ciclo completo.

cambiar constantemente de polaridad varias veces por segundo, tantas como la cifra que represente su *frecuencia*. Una tensión alternada de 50 ciclos por segundo tiene esa misma cantidad de variaciones, en ambos sentidos, de valor y signo en un segundo, o sea que cambia de polaridad 100 veces en un segundo. Durante medio ciclo, el polo superior (A) será positivo y el inferior (B) negativo, y durante el medio ciclo siguiente, a la inversa. Por eso, en los polos de una fuente alternada siempre se pone el doble signo ±, ya que su polaridad va cambiando constantemente.

Si no existiera el rectificador, la corriente circularía en el circuito como circula una corriente alternada, o sea medio ciclo en un sentido y otro medio ciclo en sentido contrario, y así siguiendo. Esto lo saben todos los que estudiaron Electricidad (*), pero es bueno repetirlo. Pero en el camino de la corriente se encuentra el rectificador, cuya propiedad es que permite la circulación de corriente directa en un sentido

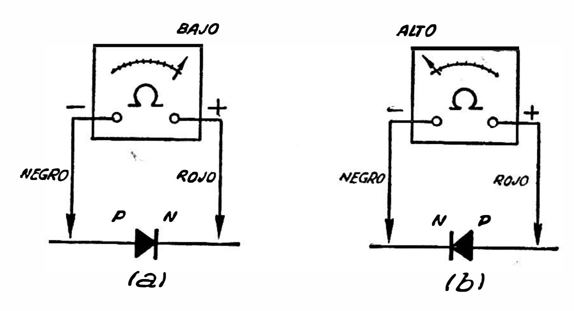


FIG. 22. — Comprobación de la polaridad de un diodo.

pero no en otro. Luego, durante el medio ciclo en el cual la polaridad en los polos de la fuente coincide con las letras P y N del rectificador, circulará corriente directa por el circuito, pero durante el otro medio ciclo se estará en la situación de la figura 18 y no circulará corriente.

La figura 21 nos muestra gráficamente lo que acabamos de decir. El valor de la corriente durante el medio ciclo en que circula no es constante, sino que varía desde cero hasta un máximo y vuelve a cero, por ser así la forma de variación de tensiones y corrientes alternadas, pero lo importante es que tenemos circulación de corriente directa solamente durante medio ciclo, o sea que no hay corriente negativa. Tenemos así un rectificador.

¿Y la corriente inversa? Existe durante todo el ciclo, pero es muy pequeña. La representamos hacia abajo del eje por ser corriente negativa, pero su valor en el primer medio ciclo se resta del valor grande de la corriente positiva y desaparece; durante el medio ciclo en que no hay corriente positiva tenemos esa pequeña circula-

(*) Ver *Aprenda Electricidad en 15 días*, del mismo autor. (*N. del E.*)

ción contraria, pero en la práctica se la suele despreciar por su pequeñez.

¿Cómo podemos comprobar rápidamente la polaridad de un diodo rectificador y comprobar que existe una pequeña corriente inversa? Mediante un óhmetro, y en la forma como lo muestra la figura 22. El óhmetro (también llamado *tester* o multímetro) es un aparato que sirve para medir la resistencia de un circuito o de un resistor, y la indica directamente en *Ohm*, nombre de la unidad de resistencia. Y bien, si tenemos un óhmetro comprobaremos que sus cables de medición son uno rojo y otro negro, el rojo corresponde al polo negativo de su pila interna y el negro al positivo. Si tocamos los extremos del diodo como se ve en *a* de la figura 22, la corriente del óhmetro pasa con facilidad

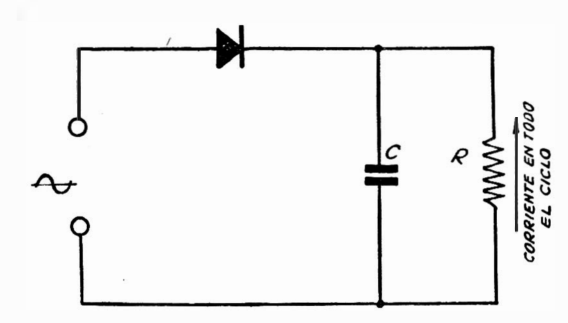


Fig. 23. — Agregado de un capacitor a la salida del rectificador para mejorar la acción rectificadora.

y la aguja indica un valor bajo de resistencia, pero no marca cero, porque el diodo es conductor en ese sentido, pero no absoluto, sino que ofrece cierta resistencia al paso de la corriente. Si tocamos los extremos al revés, como se indica en *b*, el óhmetro marcará un valor elevado de resistencia, pero no infinito, precisamente por la existencia de la corriente inversa. Si no existiera esa corriente inversa no habría circulación de ninguna corriente, lo que equivale a que el circuito tenga resistencia infinita.

El rectificador práctico

Un rectificador que nos dé una corriente como la de la figura 21 no es muy práctico que digamos, pues cuando usamos un rectificador es para convertir la corriente alternada en continua. La que tenemos en la figura 21 es una corriente que se llama *pulsante*, y tiene de la continua la propiedad de que no cambia de polaridad, pero no la de mantener su valor uniforme.

Debemos entonces buscar de arreglar nuestro rectificador con algún dispositivo capaz de acumular cargas eléctricas durante medio ciclo y entregarlas precisamente durante el otro medio, cuando no tenemos corriente. El dispositivo acu-

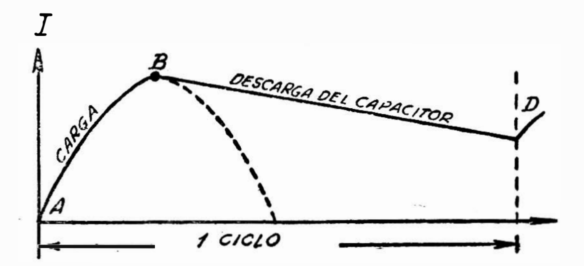


Fig. 24. — Efecto del capacitor agregado en la figura 23.

mulador de cargas eléctricas más simple es el *capacitor*. Es muy conocido en Electricidad y en Radio (*), y posiblemente muchos lo sigan llamando *condensador*, pero su nombre correcto es capacitor. Conectaremos un capacitor en la forma como lo muestra la figura 23 (letra C). ¿Qué nos hace este capacitor en el circuito? Pues precisamente acumular cargas eléctricas durante medio ciclo, como lo muestra la figura 24 y entregarlas al circuito durante el otro medio. Es decir que desde A hasta B, el capacitor se carga, y desde B hasta D se descarga, no dejando que disminuya la corriente según la línea punteada.

Claro que si mostramos esto durante un solo ciclo de la tensión alternada que estamos rectificando, no se ve bien claro lo que hemos obtenido, pero en la figura 25 hemos dibujado varios ciclos, y se ve que la corriente que circula por el circuito, si bien no se representa por una línea recta horizontal, por lo menos no varía mucho. Si colocamos un capacitor de mayor capacidad en el rectificador, esa línea quebrada se hará más y más recta, y en la práctica siem-

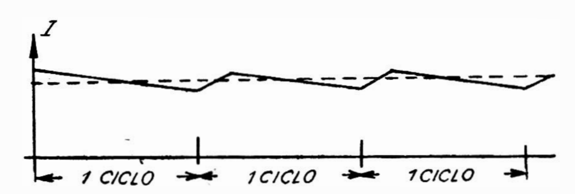


Fig. 25. — El enderezamiento de la corriente de salida es evidente.

pre se consigue que el rectificador, con la ayuda de un buen capacitor, entregue corriente prácticamente continua al circuito. La capacidad de los capacitores se mire en Farad, o, como esta unidad es muy grande y muy incómoda, se mide en microfarad. Además, para conectarlo, hay que especificar el valor de la tensión eléctrica máxima que se aplicará entre sus bornes. En el

(*) Ver *Aprenda Radio en 15 días*, del mismo autor. (*N. del E.*)

caso de la figura 20 sería la tensión entre los polos y en el caso de la figura 23 sería la tensión que hay entre los extremos del resistor R, siempre conocida. En resumen, se pedirá, por ejemplo, un capacitor de 40 microfarad para 400 Volt.

Tipos de diodos

Una vez que conocemos la aplicación de los diodos rectificadores que se construyen sobre la base de una juntura de dos trozos de semiconductores, nos ocuparemos de los detalles prácticos referentes a tales diodos. Se ha mencionado que la función de un rectificador es convertir una tensión alterna en una continua, y eso no refleja las múltiples posibilidades de los diodos, pues existen muchas otras. También hemos dicho que los dos trozos de semiconductores eran de germanio impuro, uno tipo P y otro tipo N, y eso tampoco refleja la realidad, pues se construyen diodos de silicio, además de los de germanio. De todas las variedades de diodos existentes puede hacerse una clasificación según el uso a que se destinan.

Una primera selección podría agruparlos en diodos de silicio y diodos de germanio. Otra clasificación los agruparía en diodos para corrientes fuertes y corrientes débiles. También puede atenderse a la frecuencia de la corriente alternada a rectificar, y tendríamos los diodos para baja y para alta frecuencia. Y también podríamos agruparlos según las denominaciones, ya que la técnica europea usa un código denominador diferente al de la técnica americana. Y frente a todas esas posibilidades de clasificación, tenemos las denominaciones populares, que siempre tienden a facilitar los nombres, especialmente en los tipos comunes de mayor aplicación.

De todas las posibilidades mencionadas nos quedaremos con la última, en atención al carácter de este libro. Agruparemos entonces los diodos en los rectificadores de corriente fuerte, que son generalmente de silicio, y que responden a la denominación práctica de *silicones*, por una parte, y en los diodos rectificadores para corrientes débiles, usables en altas frecuencias, que son habitualmente de germanio, y que se denominan precisamente: *diodos de germanio*. También se los llama *detectores*, en atención a que la rectificación de corrientes de alta frecuencia, en radio, es una operación que responde al nombre de detección. Pero no hay que hacer demasiado riguroso esto último, porque hay una gran cantidad de usos de los diodos de germanio en los que la función que cumplen no se llama detección. Veamos entonces las características destacadas de los silicones y de los diodos de germanio, con las nomenclaturas usuales.

Los silicones

La primera clasificación práctica de los rectificadores los divide en baja y alta potencia, entendiéndose que para rectificación de la corriente alternada, a los efectos de alimentar circuitos que requieren corriente continua, siempre se usarán diodos a los que se consideran de alta potencia y baja frecuencia. Para esta función se emplearon primitivamente válvulas termoiónicas o rectificadores de óxido. Veamos un poco esto.

Las válvulas termoiónicas son bien conocidas, y su principal característica es que tienen un filamento, como las lámparas de alumbrado, para provocar emisión de electrones, y una placa colocada algo distanciada de ese filamento. El conjunto se coloca dentro de una ampolla de vidrio, y la corriente eléctrica puede saltar el espacio entre el filamento y la placa siempre que lo haga en ese sentido, y no en el que sería de placa a filamento. Así tenemos el rectificador a válvula, cuyo funcionamiento y características se pueden estudiar en cualquier libro común de radio (*). El inconveniente que presentan es que ese filamento hay que alimentarlo con corriente eléctrica, la cual se gasta en ponerlo incandescente, y además, tiene problemas por requerir una tensión y una corriente especificadas.

Los rectificadores a óxido aprovechan la propiedad de las chapas oxidadas de cobre o de selenio, de dejar pasar la corriente en un sentido y no en el otro. El sentido posible es el que sale de la chapa hacia el óxido y no el contrario. Estos rectificadores todavía se usan, pero van quedando relegados a aplicaciones industriales por ser de mayor tamaño y requerir montajes refrigerados, si se los compara con los silicones.

Con lo antedicho no es difícil destacar la ventaja de los silicones en su empleo como rectificadores de la corriente alternada. Menor tamaño y peso que cualquiera de los otros tipos, mayor duración, no requieren alimentación de filamento, ya que no lo tienen y, debido a su fabricación en gran escala, ya resultan más económicos.

El aspecto de los silicones más usados se muestra en la figura 26. El de arriba es para corrientes no muy elevadas, y el inferior es para rectificadores de fuerte corriente. En ambos modelos la cápsula metálica corresponde al semiconductor tipo N y suele denominarse *cátodo* y el terminal aislado corresponde al tipo P y se llama *ánodo*. En el símbolo que hemos puesto en la parte inferior de la figura la raya fina es el cátodo y el triangulito es el ánodo. Los signos + y — parecería que están al revés, pero de acuerdo con la figura 20 tenemos que ponerle el

(*) Ver *Aprenda Radio en 15 días*, del mismo autor. (*N. del E.*)

signo positivo al cátodo, pues es el terminal que corresponde al polo positivo del circuito de corriente rectificada o sea de corriente continua. Para la vieja convención de circulación de corriente eléctrica, el que admitía que la corriente va del polo positivo al negativo, el triangulito marca, como si fuera una flecha, ese sentido; y como todavía se acostumbra a admitir ese sentido de circulación, se marcan los rectificadores en esa forma.

Hay silicones para baja tensión y fuerte corriente, para tensión media y baja corriente, y para tensión media y fuerte corriente, todos los cuales, en la denominación americana, llevan como primeros símbolos un número 1 y una letra N. Por ejemplo, el 1N3754 es para 100 Volt a 0,125 Amper, y el 1N1190 es para 600 Volt a 35 Amper. En toda esta serie los hay para tensiones de 15, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 600 Volt. Las corrientes máximas de esos mismos tipos son de 0,125, 0,4, 0,75, 5, 12, 18, 20, 35 y 40 Amper. Para tensiones superiores a los 1.000 Volt se usa la denominación que comienza con las letras CR. Por ejemplo el CR101 es para 1200 Volt y el CR212 es para 12.000 Volt.

Otra característica que siempre se fija en los silicones es la temperatura máxima del ambiente, que es de 100°C en los modelos comunes y llega hasta los 200°C en los modelos especiales.

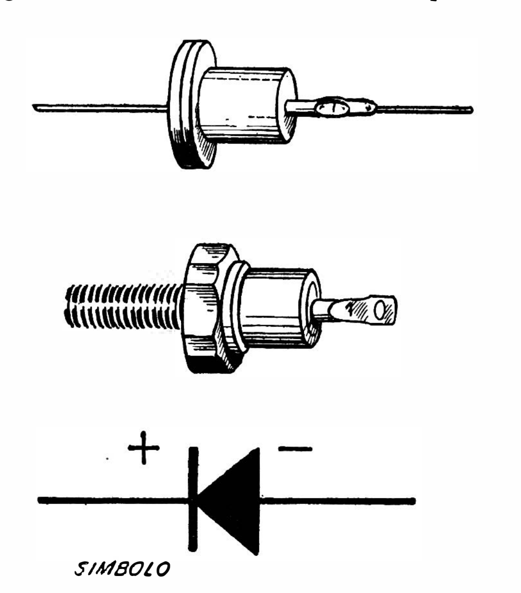


Fig. 26. — Aspecto de los rectificadores silicones y su símbolo práctico.

Como se ve, cuando se va a usar un silicón hay que especificar tres cifras máximas, y adquirir uno que iguale o supere esas condiciones. Esas cifras son la tensión máxima, la corriente máxima y la temperatura máxima.

Con respecto a la tensión máxima, hay que aclarar que la cifra no se refiere a la tensión alterna a rectificar ni a la tensión continua que tenemos en la fuente, sino a lo que se llama *tensión inversa de pico.* ¿Qué es esto? Veamos la figura 27 que nos aclara el punto. Cuando tenemos una tensión alterna, la misma se representa con una curva como la ilustrada, que se

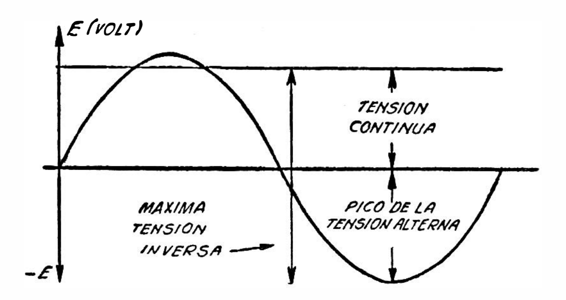


Fig. 27. — Explicación gráfica del significado de la tensión inversa de cresta o de pico.

llama *senoide.* Ella da los valores de la tensión en cada instante, durante todo un ciclo del fenómeno alternado. Al rectificar esa tensión alternada tendremos una tensión continua, y de acuerdo con la figura 25, sabemos que podemos alcanzar un valor cercano al de pico positivo de la tensión alterna, gracias a la acción del capacitor que poníamos a la salida del rectificador. Pero cuando la tensión alterna tiene su pico negativo, entre los terminales del rectificador tenemos la suma de las dos tensiones, la continua y el pico negativo de la alterna, suma que es la que se llama *tensión inversa de cresta.* En la práctica, para saber aproximadamente cual será la máxima tensión inversa de pico, se puede tomar una cifra igual a dos veces y media el valor de la tensión eficaz alterna, o sea del valor que acusa un voltímetro para esa tensión alterna. Para los que recuerdan sus estudios de electricidad (*), saben que un voltímetro de alterna no nos marca el valor de pico sino el llamado valor eficaz, que es un 70 % del valor de pico. Por ejemplo, la línea eléctrica de corriente alternada, de la cual decimos que la tensión es 220 Volt, en realidad tiene 308 Volt como tensión de pico, y nadie se preocupa de ese detalle, sino que siempre se la menciona como si tuviera 220 Volt.

Volviendo a la máxima tensión inversa de cresta, para el caso de un rectificador para usarlo en la línea de 220 Volt, multiplicamos esa cifra por 2,5 como dijimos antes y obtenemos 550

(*) Ver *Aprenda Electricidad en 15 días,* del mismo autor. (*N. del E.*)

Volt. Luego usaremos un silicón de los que tienen especificada una tensión inversa máxima de 600 Volt.

Diodos de germanio

Así como los silicones se emplean en rectificadores para alimentación, y por lo tanto trabajan siempre con tensiones alternas de baja frecuencia, y sus regímenes de corriente o de tensión son preferentemente elevados, los diodos de germanio, que son también diodos rectificadores, trabajan en otras condiciones, destacándose, en general, los valores menores de corriente y su aptitud para trabajar con corrientes alternas de frecuencias más altas. El aspecto físico de estos diodos puede verse en la figura 28, donde vemos arriba un corte del modelo europeo, en

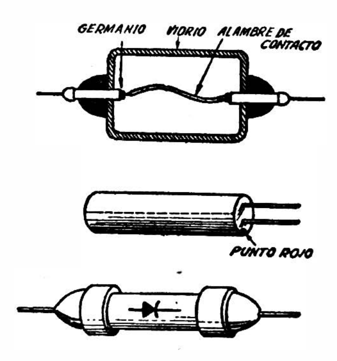


FIG. 28. — Aspecto de los diodos de germanio usados como detectores y rectificadores de alta frecuencia.

el centro el tipo americano con sus dos terminales en un mismo extremo, y en la parte inferior un modelo algo más antiguo de la Sylvania, también americano.

La identificación del cátodo y del ánodo se hace en la parte exterior, sea con un punto rojo que señala el terminal que corresponde al cátodo, por ser el terminal que corresponde al polo positivo en el lado de continua, o sea con el símbolo clásico del triangulito y la rayita, como se ve en el modelo que está debajo.

Entre los diodos de germanio, cuyo uso data de muchos años, el más popular en nuestro medio fue el 1N34 de la Sylvania, cuyos límites de utilización era 60 Volt de tensión inversa de pico y 50 miliamper de máxima corriente rectificada. Como vemos, la nomenclatura americana usa los mismos símbolos para los diodos de germanio que para los silicones, pues empieza por 1N. Después aparecieron otros, como el 1N35, el 1N38, el 1N54, etc. Todos estos tipos, si bien siguen existiendo, van siendo reemplazados por los más modernos, como el 1N2326, el 1N3128, etc.

Dentro de los tipos de fabricación europea encontramos que sus características empiezan por las letras OA, y así encontramos al OA5, el OA7, con números crecientes hasta el OA202. Entre ellos tenemos tipos de baja corriente y alta frecuencia y los de alta corriente, como por ejemplo el OA70 que rectifica hasta 400 miliamper. Como se ve, reemplaza a algunos silicones en la misión de rectificar la corriente alternada.

Estudiar los circuitos de aplicación de los diodos de germanio en radio y en televisión sería interminable, porque constantemente están apareciendo nuevos montajes, si bien no puede hablarse de nuevos circuitos. Hoy día ya no se emplean válvulas termoiónicas como rectificadoras de alta frecuencia, por ser más económicos los diodos de germanio, además de no tener el problema del filamento que tienen aquellas. Como detector, recortador de picos, limitador de crestas, en fin, en todas las funciones que se requieren en los circuitos aparecen estos famosos dioditos cuyo tamaño es del orden de unos pocos milímetros de diámetro y algo más de un centímetro de largo.

Día 3

Los dos días transcurridos hasta aquí han sido útiles por la cantidad de conceptos vertidos, los que, para todos aquellos que tenían conocimientos de Electricidad y Radio a la usanza antigua, han resultado novedosos. No debemos culpar a nadie por todas las cosas que hemos aprendido en el pasado y que ahora debemos rectificar, cuando la evolución de la ciencia lanza nuevas teorías. Los transistores son una realidad, existen y sirven, de modo que sus principios no son una aventurada hipótesis científica sino explicación de hechos ciertos.

Si se encarara la aplicación directa de los transistores a los circuitos, suponiendo que se comportan de la misma manera que las válvulas electrónicas, se cometería el grave error de usar dispositivos de los cuales no se conoce bien el funcionamiento y las limitaciones; la consecuencia sería que no se obtendrían los mejores resultados y se estropearían muchas unidades. Y téngase en cuenta que todo aquél que ha usado válvulas, ha podido advertir en su interior un brillo excesivo en el filamento, una luminosidad azulada en la placa, chispas internas y otros avisos de peligro; en los transistores no hay aviso posible: cuando se sobrepasan algunos de sus límites se estropean sin remedio y nadie puede advertirlo al estar mirándolos.

En resumen, que es indispensable haber aprendido todo lo tratado hasta aquí y disponerse a aprovechar la presente jornada, para compenetrarse del funcionamiento del transistor; sólo así podremos avanzar y saber colocarlo en los circuitos para sacarle provecho.

TRANSISTORES DE JUNTURA

Tipos de transistores

Sin entrar a analizar lo que ocurre al hacerlo, partiremos de la base de que si reunimos dos diodos, o más bien dicho, dos junturas P-N, de tal modo que formamos tres trozos de germanio con dos junturas, tenemos un transistor. La condición es que los trozos exteriores sean de un tipo y el central del tipo opuesto; por ejemplo dos trozos externos N y uno central P, o viceversa. Claro está que para que se obtenga algún resultado, algún funcionamiento, habrá que dar a cada uno de esos trozos una polarización eléctrica, lo que se hace mediante pilas. Toda la clave reside en el signo o polaridad que daremos a cada trozo de germanio.

En principio, ya tenemos dos tipos de transistores, que son los P-N-P y N-P-N, según cómo se dispongan los tres trozos de germanio de tipos P y N. Además, como arrimamos esos trozos formando dos junturas, estos transistores serían los llamados *de juntura*. Lógico es pensar que hay otro tipo que no sea de juntura, y efectivamente, lo hay; son los transistores de contacto puntual. Como simple ilustración para tener una idea de lo que es un transistor de contacto puntual, volvamos a la figura 28 y observemos el diodo que aparece en corte en la parte de arriba: es un diodo de contacto puntual y no de juntura. Como en este momento estamos ocupándonos de los principios de funcionamiento de los transistores, seguiremos hablando de los de juntura, cuya explicación es más simple. Los de contacto puntual los dejaremos para cuando nos ocupemos de los tipos especiales de transistores.

En realidad hay dos razones de mucho peso para estudiar primero los transistores de juntura y dejar para más adelante, como si fueran una curiosidad o un tipo especial, los de contacto puntual: la primera es que el estudio detallado de la juntura, que nos llevó al diodo rectificador, nos coloca muy cerca de entender directamente el funcionamiento del transistor de juntura, del que nos ocuparemos en el presente capítulo; la segunda razón es que la práctica ha impuesto el uso de los transistores de juntura por ventajas de índole constructiva, de modo que,

si debiert prescindirse del estudio de uno de los dos tipos, tendríamos que ocuparnos únicamente de los de juntura, de amplia difusión en la actualidad.

El transistor tipo N-P-N

Tomemos tres trozos de germanio con impurezas, dos tendrán pequeñísimas proporciones de arsénico, o sea que serán del tipo N, y los colocaremos en los extremos y uno tendrá impurezas de indio, o sea será tipo P; lo colocaremos en el centro, tal como lo muestra la figura 29. En

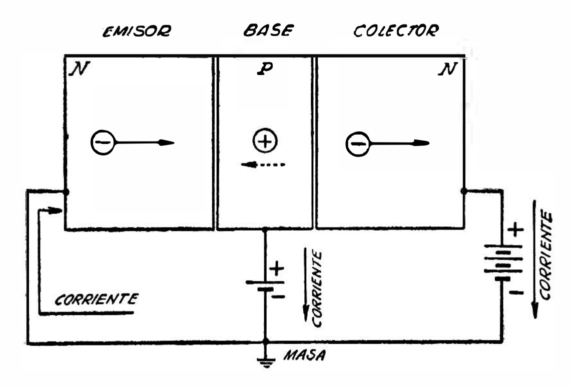


FIG. 29. — Tres trozos de germanio forman dos junturas y tenemos un transistor NPN.

los trozos tipo N habrá electrones libres, o sea cargas negativas y en el trozo tipo P hay cargas positivas libres, es decir agujeros o lagunas. Ya sabemos, por haberlo estudiado para los diodos, que hay un equilibrio de cargas eléctricas tal, que por sí solas no saltan las junturas; aquí tenemos dos junturas, pero ninguna de ellas es atravesada por las cargas libres, tal como ocurría en la figura 14, salvo la pequeña corriente inversa, de la cual no nos ocuparemos por el momento. Para que se produzca un movimiento de cargas eléctricas tenemos que polarizar los trozos de germanio, tal como lo hicimos para la figura 17.

Y bien, en un transistor se polariza un trozo extremo con polaridad coincidente con su signo, y el otro extremo con polaridad contraria a la de su signo. El trozo central suele llevar polaridad coincidente con su signo. Entonces, en la figura 29 tenemos que polarizar el trozo N de la izquierda con un polo negativo, el trozo central con un polo positivo y el trozo de la derecha con un polo positivo. Si, para no usar tres pilas, unimos los polos negativos de las dos pilas con el trozo N de la izquierda, le hemos dado al mismo polaridad negativa, y sólo empleamos dos pilas. Más adelante veremos que se pueden usar transistores con una sola pila.

El trozo extremo que lleva polaridad negativa, siendo tipo N, se llama *emisor*, y esto sirve para reconocer al tipo de transistor, pues siempre el emisor lleva la polaridad que coincide con su signo. *Si tenemos un transistor cuyo emisor va al polo negativo, es un tipo N-P-N, y si el emisor está conectado al polo positivo, es un tipo P-N-P.*

Otro detalle que más adelante nos va a interesar, es que es usual que uno de los sectores o partes del transistor lleva la polaridad común del retorno de la pila o de las pilas que haya, retorno que se llama *masa.* El montaje del circuito se denomina por tal característica, y para la figura 29 diríamos que es un *transistor con emisor a masa.* En este momento, este detalle carece de importancia, por cuanto hemos hecho esa conexión para dar al emisor la polaridad negativa, que es la del punto masa, donde se han conectado los polos negativos de las dos pilas.

De acuerdo con las polaridades suministradas por las pilas, y conociendo las cargas eléctricas libres que hay en el interior de los tres trozos de germanio, las que hemos marcado dentro de circulitos, podemos poner unas flechas que nos indican las direcciones en que tales cargas serán impulsadas. En efecto, si se establece una circulación de cargas negativas, o sea una corriente directa, esos electrones serán rechazados por la polaridad negativa, es decir que en el emisor se irán hacia la juntura con la base; en el colector, en cambio, lo electrones serán atraídos por el polo positivo y se alejarán de la juntura con la base. Dentro de la base hay cargas positivas libres, y lo único que pueden hacer es desplazarse en sentido contrario al de la corrientes directa, o sea moverse desde la juntura con el colector hacia la juntura con el emisor. En la figura 29 se han marcado con flechas esas tres posibilidades de desplazamiento, y ellas nos permiten hacer una interesante observación.

Recordemos la figura 17, y comprobaremos que cuando en una juntura hay flechas encontradas, la corriente circula con facilidad, el circuito es de baja resistencia. Luego, la juntura emisor-base es de baja resistencia, y habrá una fuerte corriente de emisor a base. Ahora vamos a la otra juntura, la base-colector; aquí tenemos flechas divergentes, o sea que será una juntura de alta resistencia, con circulación de baja corriente. Todo esto está puntualizado en la figura 30, que nos indica además las polaridades de los tres elementos o electrodos en los transistores N-P-N.

Pero hemos pasado de largo por un detalle de la mayor importancia, que es el potencial de la base; él es menor que el del colector, lo que

hemos indicado en la figura 29 poniendo menos pilas en la base que en el colector. Los electrones que vienen del emisor, empujados por su polaridad negativa, saltan la juntura emisor-base. Algunos son absorbidos por la base debido a su polaridad positiva, pero como el potencial positivo del colector es mucho mayor, muchos electrones son impulsados a saltar la juntura base-

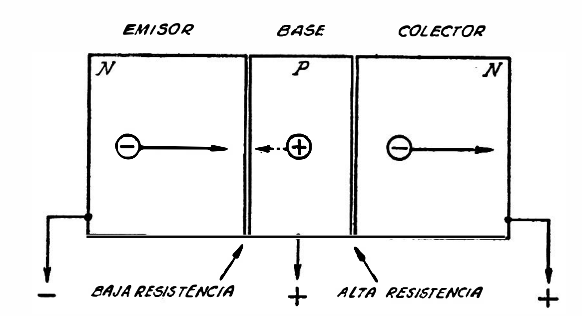


FIG. 30. — Las junturas ofrecen diferente resistencia.

colector, y pasan a este último. Claro que la cantidad total de electrones, los que quedan en la base y los que van al colector, son provistos por el emisor. Es como si la corriente del emisor se dividiera en dos circuitos, el de base y el de colector, o también que *la suma de las corrientes de base y colector es igual a la corriente de emisor.* Y ahora viene lo importante: alterando el potencial de la base se consigue variar la corriente de emisor, ya que si lo elevamos, es decir, hacemos a la base más positiva, mayor cantidad de electrones caerán en ella y debe proveerlos el emisor; viceversa, si hacemos a la base menos positiva, menor será el número de electrones absorbidos por la misma y se reducirá la corriente de emisor.

Con respecto a la juntura base-colector también puede decirse algo. Esta juntura está polarizada en sentido inverso, tiene alta resistencia, luego pequeñas variaciones de la corriente que la atraviesa producirán grandes variaciones de la diferencia de potencial entre el colector y la base.

En resumen, vemos que pequeñas variaciones en el potencial de la base tienen por efecto grandes variaciones en la corriente de emisor, que son mayores que las variaciones que se producen en la corriente de la base misma. Por otra parte, pequeñas variaciones de la corriente a través de la juntura base-colector tienen por efecto grandes variaciones de la tensión entre esos electrodos. Es como si hubiera una barrera que al abrirse, permitiera el pasaje brusco de grandes cantidades de cargas. Pero esta idea de la barrera nos servirá bien para aclarar un poco lo que hemos dicho antes.

Barreras de potencial

Para comprender con más claridad el efecto de la base en el funcionamiento del transistor acudiremos a un gráfico debido originalmente a Milward, que mostramos en la figura 31. Representaremos los potenciales de los tres electrodos, emisor, base y colector y supondremos, por un momento, que los electrones son bolitas que pueden correr por un plano inclinado. Para que la bolita corra, la inclinación debe ser la que va de la zona negativa hacia la positiva. Al rodar la bolita y llegar a la juntura emisor-base se encuentra con una pendiente contraria (ver también Fig. 29), pero como viene acelerada por la fuerte pendiente salta esa barrera y sube a la cresta. Si el impulso que trae es suficiente, sigue por el pequeño tramo horizontal y cae en la fuerte pendiente del colector, donde ya nada la frena.

Si la barrera fuera más alta (Fig. 32) para pasarla habría que dar mayor pendiente a la zona del emisor, pues en caso contrario la bolita podría tal vez trepar la cuesta pero quedaría allí. Si para la altura de la barrera de la base que muestra la línea de puntos basta la inclinación B del emisor, para la mayor altura que representa la línea llena se requiere la inclinación A. Obsérvese que pequeñas diferencias de altura de la barrera de potencial de la base requieren

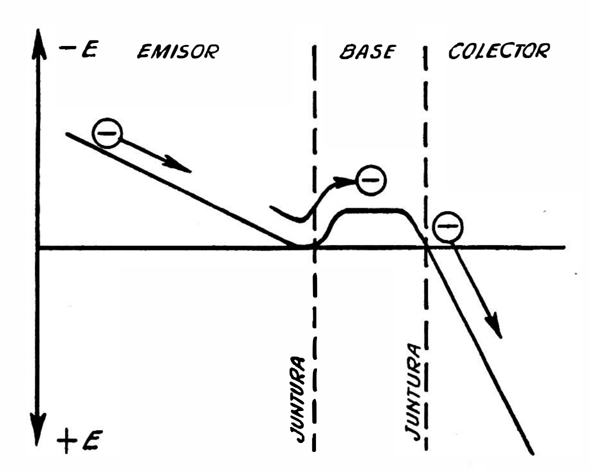


FIG. 31. — Representación de la barrera de potencial en la juntura.

grandes diferencias de inclinación en el potencial de emisor.

Las conclusiones que podemos sacar de esta imagen física que trazamos son las siguientes: Para asegurar el trayecto de una dada cantidad de bolitas desde el emisor hasta el colector, hay que tener un cierto potencial en el emisor para un dado potencial de la base. Si este último au-

menta, claro que en sentido contrario al del emisor, es decir que se hace más positivo, hay que aumentar el potencial negativo del emisor, pues si no se reduce el número de bolitas que pasan la barrera. Llevando las bolitas a su equivalente eléctrico, corriente eléctrica, diremos que un pequeño aumento del potencial de base debe ser

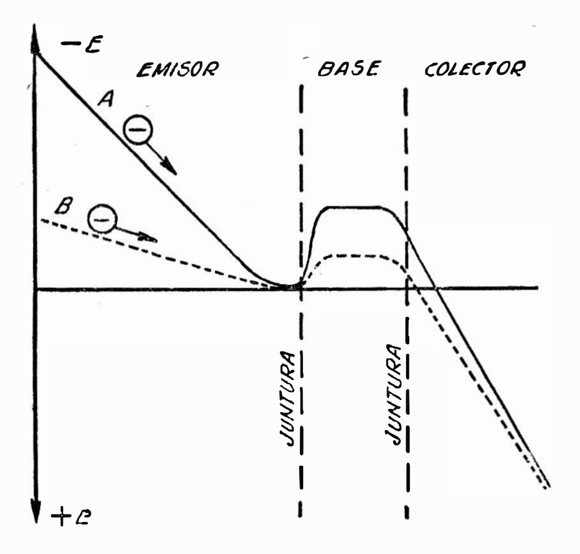


Fig. 32. — Una barrera más alta requiere mayor impulso para atravesarla.

compensado con un gran aumento de potencial de emisor para mantener la corriente de éste; viceversa, reduciendo un poco el potencial de la base se puede rebajar mucho el potencial de emisor para mantener su corriente. No hace falta decir mucho más para imaginar que si pequeñas magnitudes pueden producir grandes efectos en otras magnitudes, estamos frente a un dispositivo capaz de amplificar, tal como ocurre con las válvulas termoiónicas; pero este es un tema que abordaremos más adelante, dejando ahora por explicado el fenómeno.

El transistor tipo P-N-P

Veamos ahora la otra posibilidad de juntar tres trozos de germanio impuro: dos trozos extremos del tipo P y un trozo central del tipo N, tal como lo representamos en la figura 33. En virtud de las consideraciones hechas anteriormente, el emisor será aquel trozo que lleve polaridad positiva, o sea que si queremos que el emisor sea el de la izquierda, allí tenemos que conectar el polo positivo de una pila. Y como antes, para ahorrar una pila ponemos dos, una para la base y otra para el colector, uniendo sus polos positivos a masa, punto de conexión del emisor. Por lo que ya hemos dicho, este será un transistor con emisor a masa.

Como tenemos en el emisor y en el colector germanio tipo P, debe haber lagunas libres, por lo que marcamos signos positivos en los circulitos. En la base, en cambio, tenemos un tipo N, con electrones libres. Veamos ahora las flechas de circulación, para lo cual tenemos que recordar la figura 11. Hemos marcado punteadas en la figura 33 las flechas de desplazamiento de lagunas en los trozos tipo P, mientras que en el tipo N hemos marcado con línea llena el desplazamiento de electrones. Pero recordemos que un desplazamiento de lagunas en un sentido origina una de electrones en sentido contrario (ver Fig. 11), si bien el origen del desplazamiento de cargas que se producirá en el transistor está en las lagunas libres, en el circuito exterior debemos tener en cuenta el movimiento de electrones, o sea la corriente real o directa y no la ficticia o inversa. Sería muy lindo seguir dibujando circulitos con signos positivos adentro y hablar de su sentido de desplazamiento según las flechas punteadas, pero es preferible cambiar las cosas y dibujar nuestro transistor con el desplazamiento de los electrones, aunque ello esté producido por las lagunas. Luego, dibujamos las cosas como lo muestra la figura 34, y en el circuito la corriente directa o normal tendrá el sentido de circulación que marca la flecha.

Asi las cosas, nuestro transistor se diferencia del N-P-N en los signos o polaridades de las pi-

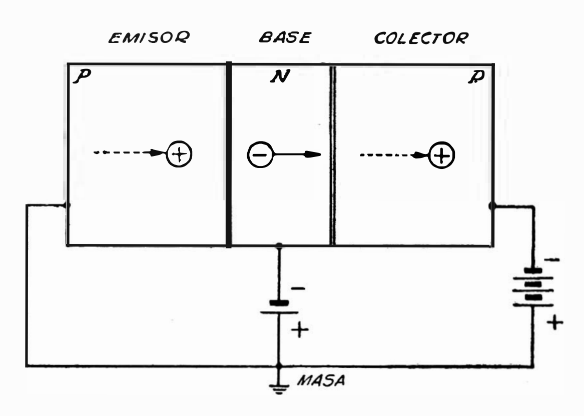


Fig. 33. — Polarización de los elementos de un transistor PNP

las, pues como ya hemos dicho anteriormente, en un transistor el emisor lleva la polaridad de su signo, y éste, por ser P-N-P debe llevar el emisor positivo. La figura 35 nos muestra además las resistencias de las junturas, y aquí, por tratarse de algo que ocurre dentro del transistor debemos atender al desplazamiento de cargas original, el de la figura 33, y todavía le pone-

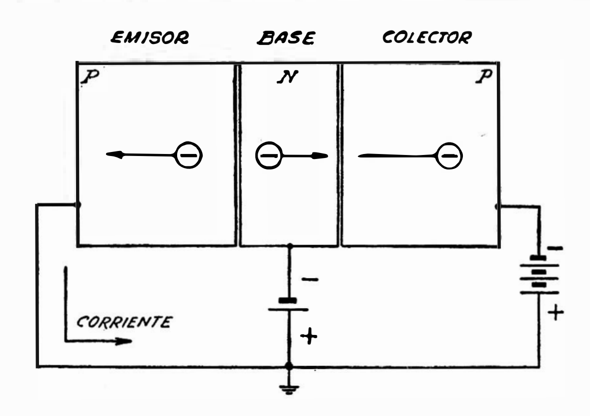


FIG. 34. — Sentido de la corriente directa o normal en el transistor PNP.

mos al trozo tipo N el movimiento de sus lagunas y no de sus electrones; esas lagunas existirán, pues al desplazarse los electrones irán dejando agujeros en los átomos, que son lagunas cuyo desplazamiento relativo es contrario en sentido al de los electrones, según ya lo vimos en nuestra famosa figura 11. Luego, observando las junturas, en la que arrima el emisor a la base hay flechas convergentes, lo que marca una concentración de cargas, alta corriente y baja resistencia. En la juntura base-emisor ocurre lo contrario, flechas divergentes, dispersión de cargas, baja corriente y alta resistencia.

Todo lo antedicho nos muestra que los transistores N-P-N y los P-N-P se diferencian únicamente en los signos de la polarización de sus electrodos. Como siempre, para saber qué tipo de transistor es, basta observar la polaridad del emisor. Un emisor positivo indica un transistor P-N-P y un emisor negativo indica un transistor N-P-N.

El funcionamiento del transistor P-N-P es idéntico al del N-P-N, y vale todo lo dicho para las explicaciones de las figuras 29, 30, 31 y 32, con la única salvedad de los signos. En los circuitos veremos los detalles referentes al comportamiento de uno y otro tipo, pero en lo que respecta al principio electrónico, lo damos por explicado.

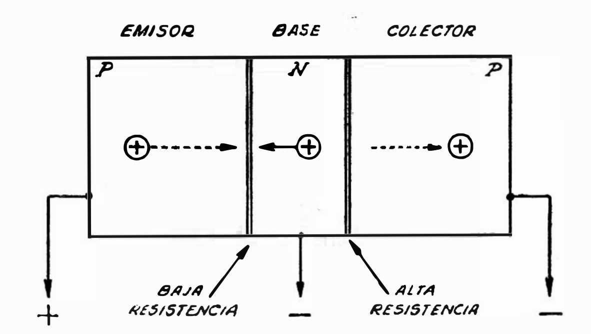


FIG. 35. — Diferentes resistencias en las junturas del transistor PNP.

Aspectos constructivos del transistor

Ahora que conocemos el principio de funcionamiento del transistor, desde el punto de vista de las cargas eléctricas, encararemos algunos detalles constructivos, para pasar más adelante a las condiciones de trabajo.

En primer término diremos que el aspecto exterior de los transistores tiene poco que ver con sus partes internas, ya que éstas son muy pequeñas, y por consiguiente la envoltura puede tener cualquier forma. Comencemos por tomar un transistor, por ejemplo uno de construcción americana, agrandemos su tamaño unas cuantas veces y observémoslo en su interior y en su exterior, tal como lo da a ver la figura 36. La pastilla central es la base, y está unida a un alambre de conexiones, el central. El emisor y el colector llevan otros dos alambres de conexiones. La caja exterior es un cilindro aplastado y su dimensión real es del orden de unos cuantos milímetros.

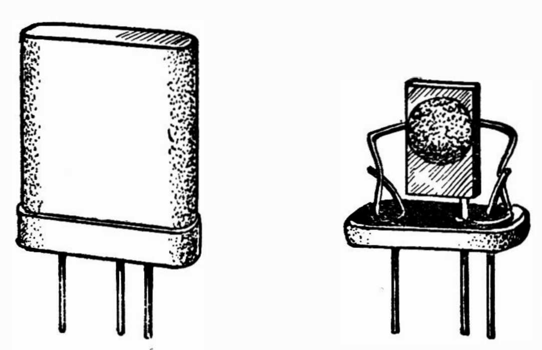


FIG. 36. — Aspectos constructivo y externo de un transistor.

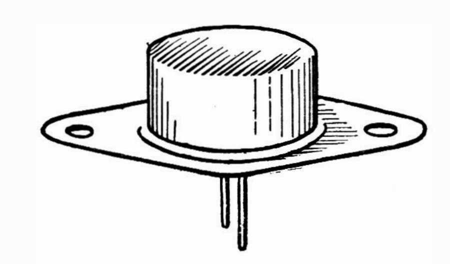


FIG. 37. — Aspecto exterior de un transistor de potencia.

La figura nos dice poco, pero es que no hay mucho que describir, pues el problema de preparar germanio con tan minúscula proporción de impurezas, y unas de un tipo (arsénico) y otras del otro tipo (indio), corresponde a la fá-

brica; nosotros compramos transistores ya hechos, y desde ya advertimos al lector de que su

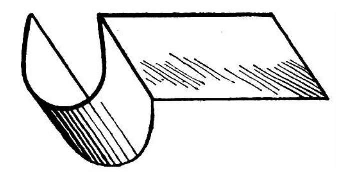
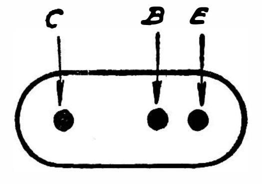
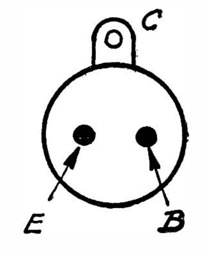


FIG. 38. — Dispositivo disipador de calor para un transistor.

proceso de fábrica es tan complejo que no hay posibilidad de improvisarlo en forma casera.

No todos los transistores tienen el aspecto ilustrado en la figura 36. Otros modelos se construyen para manejar potencias mayores, para amplificadores de sonido, y entonces son más grandes. La figura 37 muestra un modelo de la R.C.A. de transistor de potencia; presenta la particularidad de que la base está unida a la envoltura metálica, por lo que sólo tiene dos terminales de conexión. Si la base no debe unirse al chasis, hay que montarlo sobre pilares o arandelas aislantes. Muchos transistores de potencia deben ser enfriados artificialmente para mantener su temperatura por debajo de las cifras recomendadas por la fábrica. Para tal fin se les coloca unas aletas metálicas de enfriamiento, una de las cuales se ve en la figura 38; otros modelos tienen dos alas, una hacia cada lado





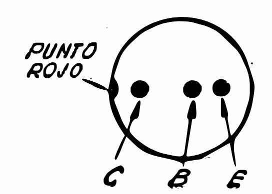


FIG. 39. — Ubicación de los electrodos en los transistores.

del transistor. El modelo ilustrado corresponde a un transistor de envoltura cilíndrica.

La disposición de los terminales en los transistores obedece a normas determinadas, adoptándose unas veces una distribución irregular de las patas, otras la colocación de un punto rojo de identificación junto al colector, y otras colocando solamente dos terminales, pues la caja metálica corresponde a la base. La figura 39 muestra las disposiciones más comunes, siendo las letras las iniciales de las tres palabras *E*misor, *B*ase y *C*olector. Obsérvese que cuando no hay ninguna pinta de color, las distancias entre terminales no son uniformes, como en la ilustración superior, en la que el terminal de base es el central, pero está cerca del de emisor.

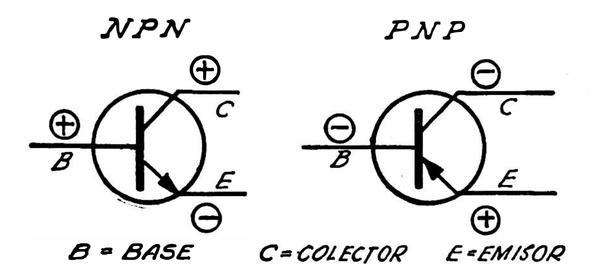


FIG. 40. — Símbolos más usados de los transistores.

En los esquemas no se dibujan los transistores con su forma real, sino que, tal como se ha venido haciendo durante años para las válvulas termoiónicas, se adoptan símbolos. Como hay esencialmente dos tipos de transistores, el N-P-N y el P-N-P, habrá dos símbolos distintos, los que se ven en la figura 40, con indicación de las polaridades y las letras respectivas, iniciales de las palabras que designan a los electrodos. Obsérvese que la única diferencia en los símbolos es que la flecha de emisor apunta para afuera en el tipo N-P-N y para adentro en el P-N-P. Hay una manera de recordar esto de memoria, y es que, como en los N-P-N el emisor lleva polaridad negativa, los electrones son salientes del emisor, como en toda emisión de electrones. En los P-N-P, como lleva polaridad positiva, que corresponde a las lagunas, ellas son entrantes, es decir de sentido contrario a la emisión.

En los esquemas no se ponen las letras y las polaridades que marcamos en la figura 40, puesto que el símbolo debe conocerse de memoria, y las polaridades están dadas por las pilas del circuito, según lo veremos oportunamente. Pero no debe pensarse que solamente hay un tipo de transistor N-P-N y un tipo P-N-P. Hay muchos, y ello se distingue colocando al lado del transistor su denominación en código, por ejemplo OC79, 2N115, etc. Asimismo, encontraremos en

algunos esquemas una forma distinta de dibujar a los transistores mediante símbolos, aunque felizmente se van dejando de lado. La figura 41 nos muestra dos de esas formas, la superior, que es la americana antigua, en la que no se usaba el círculo, y la inferior, en la que la posición de las rayitas correspondientes al emisor y colector se dibujaban perpendiculares al símbolo de la base. En ambos casos damos los dibujos correspondientes a los tipos P-N-P y N-P-N. Como la tendencia actual es usar los símbolos de la figura 40, lo que hemos presentado en la 41 tiene carácter ilustrativo.

Frecuencia límite de trabajo

En los transistores hay un tránsito de electrones desde el emisor hasta el colector, y ese tránsito dura un cierto tiempo, muy breve, pero que debe tenerse en cuenta. Estudios científicos han determinado la velocidad del desplazamiento de electrones y lagunas en la masa de germanio del transistor, y el resultado de tales estudios se da en cifras. Carece de interés para nuestro estudio dar los resultados completos, pero puede citarse una de esas cifras, que es: para un centímetro de recorrido, el desplazamiento se cumple a razón de 3.600 cm/seg. a una diferencia de potencial de un Volt. Este dato es válido para los electrones; para las lagunas la velocidad de desplazamiento es la mitad.

De la cifra dada sacamos una conclusión: si se trabajara con corrientes de alta frecuencia, en las cuales ocurren variaciones en tiempos muy breves, habrá inconvenientes por el tiempo de tránsito. En efecto, supongamos que se aplica al transistor una tensión alterna de muy alta frecuencia, la cual se hace positiva y negativa en millonésimos de segundo, lo que corresponde normalmente a frecuencias del orden de los Megaciclos por segundo, comunes en radio. Ocurre que la polaridad de emisor debería alterarse tan rápidamente como cambia la polaridad de la tensión aplicada, pero el desplazamiento de los electrones requiere un cierto tiempo y no tendrán posibilidad de producirse las alteraciones de polaridad.

Esta situación ha hecho pensar en soluciones; la primera fue acudir a los transistores N-P-N, los que tienen electrones en desplazamiento, que son más rápidos que las lagunas, pero si bien se duplicaban las posibilidades eran todavía insuficientes. Se construyeron transistores con la base más delgada, para reducir el tiempo de tránsito, pero eso aumentaba la resistencia de ese electrodo, lo que reducía su valiosa propiedad de tener baja resistencia.

Finalmente las fábricas solucionaron el problema con los transistores modernos. Veamos, por ejemplo, cómo se fabrican los de *aleación.* En éstos, se somete una delgada lámina de germanio tipo N a la acción del calor, habiéndose apoyado en sus caras gotas de indio. El calor funde al indio pero no al germanio, formándose una aleación mediante la cual el indio penetra en el germanio, quedando una separación entre el emisor y el colector, que no otra cosa son las

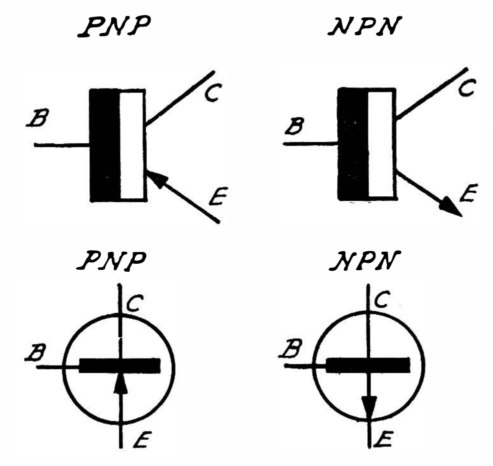


FIG. 41. — Otros símbolos de transistores, menos usados.

gotas de indio, de una centésima de milímetro. A este tipo pertenece la ilustración de la figura 36. El resultado de este método de fabricación es reducir considerablemente el tiempo de tránsito, por lo que pueden usarse estos transistores en frecuencias mucho más altas que en los modelos comunes de contacto.

Las aplicaciones modernas en televisión y ultrafrecuencias han hecho mejorar todavía las cifras con otros métodos de fabricación, aun superiores a los tipos de aleación. Por ejemplo, los transistores llamados de *barrera de superficie,* de la Philco, en los que se parte también de una tableta delgada de germanio tipo N y se deposita en ambas caras por vía electrolítica una gota de indio, que forma una masa compacta con el germanio, generándose el tipo P por la misma acción electrolítica; en el tipo de aleación el fenómeno lo producía el calor. Como dato ilustrativo, estos transistores trabajan con señales de hasta 30 Megaciclos por segundo y aún mayores. En una palabra, los transistores modernos, gracias al esfuerzo sin pausa de los fabricantes, están sirviendo para todas las funciones y superando todos los límites que los hacían inconvenientes para algunas de ellas. De todas maneras, cada transistor tiene especificada su frecuencia límite de trabajo, que se llama *frecuencia de corte.*

Temperatura de trabajo

Un factor que en las válvulas no tenía tanta importancia, como es la temperatura, en los transistores adquiere el carácter de factor primordial de precauciones. En efecto, la masa de germanio impuro tiene ligaduras enteras y ligaduras rotas, y el calor puede alterar la cantidad de estas últimas. Si ello ocurre, comienza a haber más cargas eléctricas en movimiento, el material se hace más conductor, aumenta el pasaje de la corriente, y con ello aumenta más aún la temperatura. Se llega así a afectar la estructura cristalina y a inutilizar al transistor.

Por este motivo, las fábricas especifican cuidadosamente la temperatura de cada transitor. En algunos casos, se especifica la temperatura máxima de trabajo y la disipación de potencia del electrodo más caliente, el colector. Y todavía, se suele indicar que si se supera la temperatura se debe reducir esa disipación; por ejemplo, encontramos en un manual de características de la Sylvania, que cuando la temperatura ambiente excede la especificada, se debe rebajar la disipación en un miliwatt por cada grado excedido.

Día 4

Hasta ahora no se han presentado mayores dificultades para interpretar el principio de los transistores, y, si se han seguido todos los pasos de las explicaciones, estamos en condiciones de seguir adelante. Cuando se construye un nuevo dispositivo, es evidente que tiene una razón de ser, que sirve para algo; nuestro transistor sirve para cumplir funciones similares a las de las válvulas termoiónicas. Pero no debemos aferrarnos a esa similitud de funciones, pensando que su funcionamiento es idéntico, porque se caería en errores fundamentales. Para trasladarnos de un lugar a otro podemos usar un carro, una bicicleta, un automóvil, etc., pero si bien todos ellos son vehículos, su funcionamiento difiere fundamentalmente y en cada caso elegiremos uno de ellos atendiendo a diversas razones. Algo parecido ocurre con los transistores y las válvulas; cumplen funciones similares, pero de distinta manera, con diferentes condiciones de trabajo, en fin, con características que deben estudiarse separadamente.

De todas las funciones que cumplen los transistores, la más simple pero posiblemente la más importante es la de amplificar. Vulgarmente se emplea la palabra ampliar cuando se habla de hacer una cosa más grande que su modelo; bueno, el concepto es enteramente similar, ampliaremos una corriente, o sea la haremos más grande, mediante un transistor. Con esta premisa, comencemos la tarea.

EL TRANSISTOR AMPLIFICANDO

Qué es amplificación

En sonido, en radio, en televisión, siempre se presenta el problema de que se consiguen señales de pequeña magnitud y debemos ampliarlas o amplificarlas para lograr un efecto útil. Por ejemplo, cuando hablamos delante de un micrófono, las ondas sonoras de nuestra voz se transforman en una pequeña tensión eléctrica, muy pequeña, que no alcanza para accionar un altoparlante y reproducir nuevamente nuestra voz; luego, esa tensión debe ser amplificada. Otro caso; captamos señales de radio con una antena o un simple trozo de cable, y esas señales tienen una tensión de algunos millonésimos de Volt, ya que precisamente se miden en microvolt. Tenemos que amplificarlas bastante para llevar al altoparlante de nuestro receptor unos 200 Volt en la última válvula del receptor. Otras veces, en lugar de amplificar tensión se habla de amplificar corriente, o ambas cosas a la vez, en cuyo caso se está amplificando potencia; este último detalle es muy importante, y los lectores deben recordar que multiplicando la tensión por la corriente obtenemos la potencia eléctrica. En el caso de las válvulas se hablaba más frecuentemente de amplificar tensión; en los transistores, es común amplificar la corriente. Como vemos, ya se empieza a abrir la brecha en las comparaciones, y es fácil encontrar muchos otros puntos de diferencia sustancial.

Observemos la figura 42. Nos muestra en forma muy sintética lo que hace un amplificador, es decir, toma una señal a la entrada, le aumenta

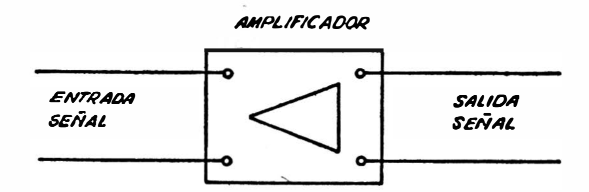


FIG. 42. — Representación simbólica de un amplificador.

su magnitud y la entrega a la salida con un valor más grande. El triángulo alargado dentro del rectángulo quiere expresar esa función amplificadora. Pero falta saber cuál es la magnitud amplificada, y desde ya advertimos que puede ser la tensión, la corriente o la potencia, y que

en el caso de ser la última, es generalmente porque se han amplificado las otras dos.

Supongamos ahora que tenemos una señal, por ejemplo una pequeña tensión eléctrica proveniente de un micrófono. Esta tensión es siempre alternada, aunque su forma de onda no sea senoidal pura, ya que ese detalle no interesa para lo que estamos tratando. Aplicamos esa tensión a una resistencia R, según lo muestra la figura 43, y circulará una corriente. Según se estudia en Electricidad, el valor de la corriente se obtiene dividiendo la tensión en Volt por la resistencia en Ohm, resultando tal corriente en Amper. En radio se suelen usar unidades más pequeñas, como el milivolt, el miliamper, etc., pero la cuestión es la misma. En resumen, a la entrada de nuestro amplificador tenemos una señal cuyo valor conocemos, sea en Volt, por ser una tensión, o sea en Amper, por haber calculado la corriente.

Ahora aplicamos el amplificador. Si es un amplificador de tensión, nos entregará a la salida una tensión mayor, que aplicada a una resistencia R, que supondremos igual a la de la entrada, nos permitirá calcular la corriente a la salida. Como la tensión es mayor, y la resistencia es igual, la corriente a la salida será mayor que la de la entrada. Luego, nuestro amplificador de tensión es, en cierto modo, un amplificador de corriente.

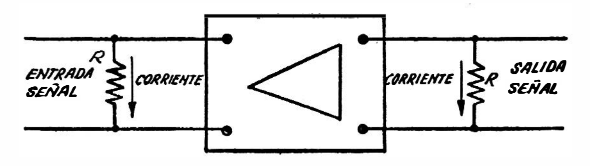


Fig. 43. — Un amplificador puede amplificar corrientes.

Veamos el caso inverso. Tenemos un amplificador de corriente. Aplicamos a la entrada una corriente débil y tendremos a la salida una corriente mucho mayor, por ejemplo 10 veces mayor. La corriente a la entrada, multiplicada por el valor de la resistencia R nos da una tensión, y la corriente a la salida, multiplicada por el mismo valor R nos dará una tensión mayor, exactamente 10 veces mayor. Luego, nuestro amplificador de corriente se ha convertido en un amplificador de tensión, gracias a la inclusión de las resistencias a la entrada y a la salida.

Finalmente, veamos lo que ocurre con la potencia. La potencia se calcula multiplicando la corriente por la tensión. Si a la entrada tenemos una cierta corriente, la que multiplicada por R nos da una tensión, podemos encontrar la cifra de *potencia de entrada*, que corresponde a nuestro amplificador. A la salida, dijimos que la corriente era, por ejemplo, 10 veces mayor. La tensión es también 10 veces mayor por lo que dijimos en el párrafo anterior. Luego, al calcular la potencia encontraremos una cifra 100 veces mayor, por multiplicar dos cantidades 10 veces mayores cada una. Luego, nuestro amplificador de la figura 43 es un amplificador de potencia, que amplifica 100 veces. La *potencia de salida* se recoge en la resistencia R de la derecha, la cual, por ese motivo se llama *carga* del amplificador.

Por lo expuesto, parecería que las denominaciones de los amplificadores, sean de tensión, de corriente o de potencia, son sólo circunstanciales. Ello no es rigurosamente cierto ni tampoco falso. Por lo pronto, una válvula termoiónica es generalmente apta como amplificadora de tensión, mientras que un transistor es apto como amplificador de corriente. Con ambos elementos podemos tener amplificadores de potencia, siempre que la fábrica los haya construído capaces de manejar corrientes grandes. Pero lo cierto es que si tenemos que amplificar tensiones o corrientes, nos arreglaremos bien con válvulas o con transistores, aunque sabemos que son diferentes, puesto que por lo que explicamos acerca de la figura 43, podemos convertir fácilmente la amplificación de tensión en amplificación de corriente y viceversa.

Ahora podemos ver cómo se hace para que un transistor trabaje como amplificador, sin preocuparnos de la manera cómo se lograba eso con las válvulas termoiónicas. Más adelante estudiaremos los amplificadores completos a transistores.

La acción amplificadora

Para comprender cómo puede amplificar una señal un transistor, debemos recordar las figuras 31 y 32, donde vimos una variante de los gráficos de Milward, y aplicarlos a la figura 44, que nos muestra un transistor, al cual se le ha aplicado una resistencia en el circuito de emisor y otra en el circuito de colector. El efecto de barrera de potencial de la base ya nos es conocido. Debemos destacar que las resistencias, de acuerdo a la moderna nomenclatura, se llaman *resistores*, pues la resistencia es su valor en Ohm, pero por el momento este detalle carece de importancia.

La señal que aplicamos a la entrada, en el circuito de emisor, es una tensión alterna, y la curva senoidal que aparece a la izquierda es su representación gráfica. Para el punto *A* de la curva, la tensión vale cero, es el momento en que cambia de signo, y en ese instante podemos

suponer que no se ha aplicado ninguna señal a la entrada y que el transistor está trabajando con sus tensiones y corrientes básicas. De los gráficos inferiores tomamos el primero, o sea el *A*

En esa situación, el transistor tiene sus polaridades dadas por las pilas y las corrientes de emisor, base y colector son las que conocemos, por haberlo explicado para las figuras 31 y 32. Por la resistencia insertada en el circuito del emisor circula la corriente de emisor, y por la R, que es la que está en el circuito de colector, circula la corriente de colector; esta resistencia es la que se llama *carga*. La base también tiene su polarización y su corriente, según lo estudiado para las figuras 31 y 32. La *suma de las corrientes de base y colector es igual a la corriente de emisor,* tal como lo explicamos para la figura 29.

Veamos ahora lo que pasa para el punto *B* de la señal de entrada. En ese instante, la tensión de entrada tiene su máximo valor negativo, o sea que se suma a la polaridad negativa del emisor. En el gráfico *A* hemos marcado el segmento *a* con una tensión negativa, que es la de la batería o pila del emisor; ahora tenemos el mismo valor *a*, pero al mismo se agrega el *b* para tener la tensión negativa total. Todo pasa como si hubiéramos aumentado la tensión negativa de emisor, luego aumentará la corriente de emisor. La consecuencia inmediata es un aumento también en la corriente de colector, o sea que la corriente que circula por la carga R aumenta. El efecto se interpreta en el gráfico *B* como si se aumentara la inclinación de la pendiente por la que ruedan las bolitas (recordar Fig. 31), o, como sabemos, es lo mismo que se redujera la altura de la barrera de potencial de la base, ya que esas bolitas corren con más facilidad hacia el colector. En la barrera de la base, gráfico *B*, hemos dibujado con línea punteada esa reducción ficticia de la altura.

Pasemos ahora al instante *C* del gráfico senoidal de la señal de entrada, que tiene su curva *C* también en la parte inferior de la figura. Para ese instante, la tensión de entrada es positiva, luego se resta a la de polarización del emisor. La pendiente resulta con menor inclinación y ello significa una reducción en la corriente de emisor, y una consecuente reducción en la corriente de colector. Es como si se hubiera aumentado la barrera de potencial de la base; la línea punteada de mayor altura quiere representar esto.

En conclusión, la corriente en el circuito de emisor fluctúa siguiendo las variaciones de la señal de entrada, y la corriente en el circuito de colector también fluctúa con idénticas variaciones, por el efecto terminante que tiene la polarización de emisor sobre la corriente del colector. Tenemos así el efecto amplificador. Veamos algunas cifras tomadas de la realidad, para valorar esa amplificación.

Un valor típico de la resistencia de emisor a base, es del orden de los 500 Ohm, mientras que la resistencia de colector a base es de unos

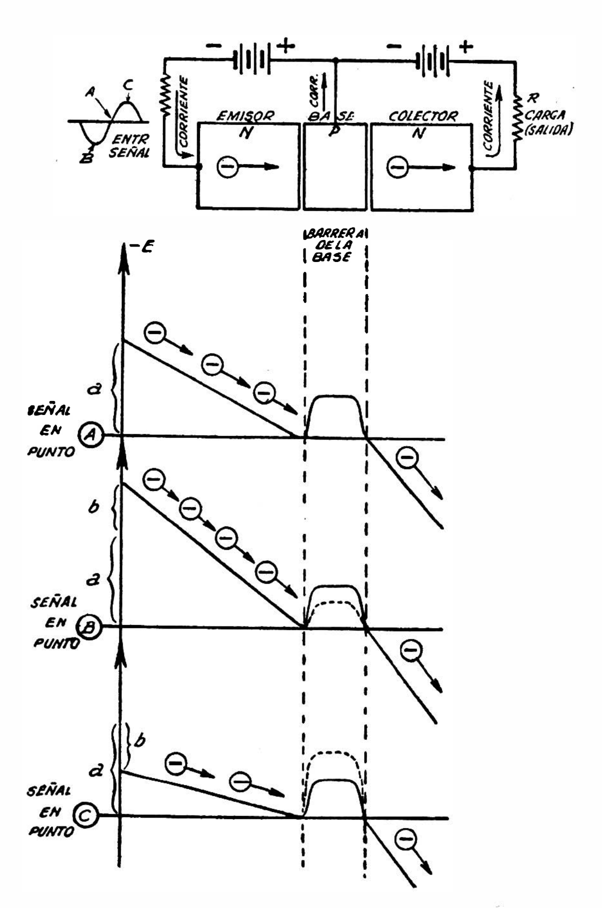


FIG. 44. — Efecto de amplificación explicado mediante las barreras de potencial.

500.000 Ohm. Si no hubiera aumento de la corriente de colector frente a las variaciones de potencial del emisor, tendríamos que:

> La tensión en el emisor es igual al producto de la corriente por la resistencia. Tomemos 1 mA, o sea 0,001 A, que multiplicado por los 500 Ohm nos da 0,5 Volt.
>
> Hagamos esa misma cuenta para el colector, y obtenemos 0,001 A multiplicado por 500.000 Ohm, que da 500 Volt. Para saber la ganancia obtenida debemos dividir la tensión a la salida por la tensión a la entrada, operación que se hace dividiendo 500 por 0,5 resultando 1000. O sea que nuestro transistor ficticio nos dio una amplificación de 1.000 veces.

Aclaramos que las cifras dadas no se ajustan a la realidad, pues sirven solamente para mostrar cómo se obtiene ganancia de tensión con un transistor, pese a que el mismo es, esencialmente, un amplificador de corriente. Si se quiere ser más preciso, podremos decir que la ganancia se obtiene, en realidad, por la *amplificación de*

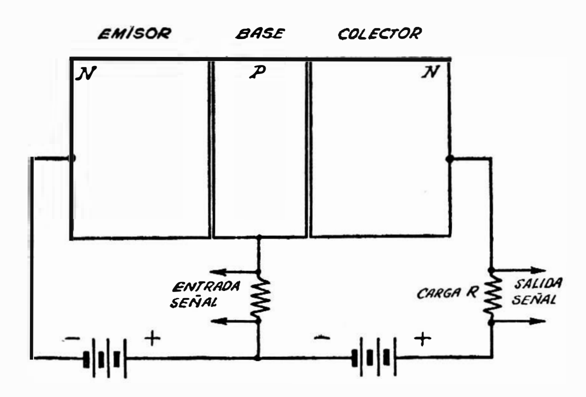


Fig. 45. — Conexión de un transistor como amplificador.

resistencia, si es que tal cosa tiene sentido físico.

Veamos ahora la figura 45, que muestra el mismo transistor anterior, pero en el cual la señal de entrada la aplicamos en una resistencia insertada en el circuito de la base. La señal de salida la tomamos, igual que antes, en la resistencia de carga R, en el circuito de colector. Para demostrar el efecto amplificador podemos considerar los mismos gráficos de la figura 44, pues en ocasión de explicar las figuras 31 y 32, vimos que pequeños aumentos en la tensión de base eran equivalentes a grandes aumentos en la polarización de emisor. Luego, en lugar de considerar que cambia la inclinación de la pendiente de las bolitas, podemos suponer que aumenta o disminuye la altura de la barrera de potencial de la base, según las líneas punteadas que hemos agregado en dicha figura 44. El efecto de amplificación se mantiene, pero con una considerable ventaja, pues la ganancia obtenida es siempre mayor, ya que ahora unimos a la amplificación de resistencia una verdadera *amplificación de corriente.* La superposición de efectos da una ganancia considerable.

En efecto, esto último puede explicarse fácilmente, si recordamos la afirmación ya demostrada para la figura 31, que pequeñas variaciones de la polarización de la base ocasionan grandes variaciones en la corriente de emisor. Luego, si las variaciones que puede ocasionar la señal aplicada al emisor son amplificadas en el circuito de colector, como lo demostramos más arriba, variaciones más pequeñas de la señal aplicada a la base resultan en grandes variaciones en el circuito de colector. Veamos algunas cifras para comparar resultados. Tomemos como resistencia del circuito base-emisor un valor de 500 Ohm, y para el circuito base-colector 20.000 Ohm. La ganancia de corriente de base a colector es, por ejemplo 50, cifra común. Veamos las tensiones presentes en los circuitos de base y de colector:

> En la base la tensión será, para una corriente de 0,001 A igual a 0,001 x 500 Ohm = 0,5 Volt, y la potencia se calcula multiplicando 0,001 A x 0,05 Volt = 0,0005 Watt.
> En el colector, la tensión será el producto de una corriente 50 veces mayor, o sea 0,05 A por 20.000 Ohm = 1.000 Volt. La potencia sale de multiplicar 0,05 A por 1.000 Volt, o sea 50 Watt. La ganancia de potencia sale de dividir 50 W por 0,0005 Watt, o sea 100.000 veces.

También en este caso las cifras son ficticias, pues en la realidad no se alcanzan valores tan altos, pero sí es exacto que la ganancia del transistor con entrada de señal en base y salida en colector es mayor que en el otro montaje, y que la ganancia de potencia de un transistor es superior a la que se obtiene con válvulas termoiónicas.

Amplificación con base a masa

Las consideraciones hechas para las figuras 44 y 45 nos demuestran que hay más de una manera de amplificar con los transistores, pues ya hemos visto dos modos distintos; y todavía hay un tercero. Es común designarlos con los

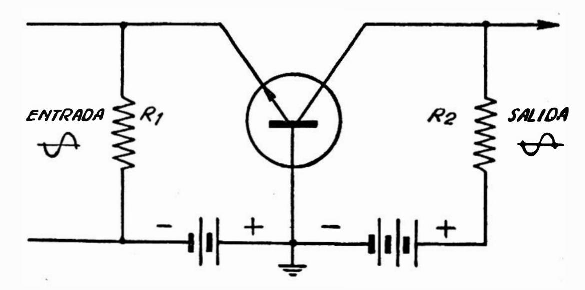


Fig. 46. — El transistor como amplificador de base a masa.

nombres de amplificadores con *base a masa,* con *emisor a masa* y con *colector a masa.* Dejemos de lado las denominaciones y veamos las diferencias de esos tres montajes, comenzando por el primero, o sea el de base a masa.

La figura 46 nos muestra en símbolos, lo que teníamos en la figura 44. Por tener flecha sa-

liente de emisor, el transistor es tipo N-P-N, y lleva polaridad negativa en emisor y positiva en colector. La entrada de la señal se hace sobre la resistencia R_1 y la salida de señal se toma sobre la carga R_2. Como hemos explicado, a los aumentos de la tensión negativa de la señal en el emisor (semiciclo negativo de la señal) corresponden aumentos en la corriente de colector, con lo que el paso de una mayor corriente por R_2 harán más negativo al colector, por aumentar la caída de tensión en esa resistencia. Luego,

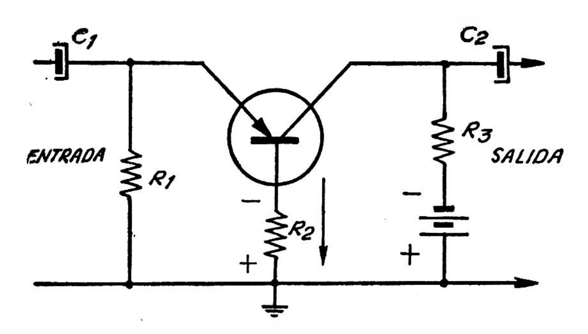


FIG. 47. — Polarización de la base mediante una resistencia.

cuando el emisor se hace más negativo, el colector también. Esto se interpreta diciendo que las señales en emisor y colector están en fase. Este hecho se ha querido dejarlo representado gráficamente con las senoides de entrada y salida, y que representan la señal. Esas dos senoides están en fase, pues cuando la de entrada tiene su semiciclo negativo, la de salida también lo tiene, y lo mismo para el positivo.

Esto que acabamos de decir tiene mucha importancia para los que recuerdan sus conocimientos de radio. En las válvulas, usando los montajes amplificadores comunes, entre las señales de grilla y de placa había una diferencia de fase de medio ciclo, o sea de 180 grados.

Las cifras típicas de impedancias de entrada y salida y de ganancias de tensión y de potencia para un amplificador a transistor con base a masa son: impedancia de entrada 100 a 300 Ohm; de salida 500.000 Ohm. Ganancia de tensión, del orden de 150 veces; de potencia del orden de 400 veces.

En la práctica el circuito de base a masa se transforma un poco, según lo muestra la figura 47. Se usa una sola batería, pues para polarizar la base se acude a un procedimiento muy conocido en radio: se intercala una resistencia R_2, ya que la corriente de base pasa por ella en el sentido que marca la flecha, y da una caída de tensión igual al producto de esa corriente por el valor de la resistencia. Obsérvese que el transistor que hemos puesto ahora es un P-N-P, y por ende el emisor lleva polaridad positiva, el colector negativa y la base negativa. La corriente, flujo de electrones en la base, circula en el sentido de la flecha, porque los electrones van buscando la polaridad positiva, luego en la resistencia R_2 se produce la polaridad que se ha marcado.

Los valores típicos para el circuito de la figura 47 salen de sus mismas características. Los capacitores de acoplamiento tienen capacidades grandes, unos 10 microfarad, en razón de la baja impedancia del circuito de emisor, para C_1 y lo mismo referente a la entrada de la etapa siguiente, para C_2. Se usan para R_1 valores del orden de 10.000 Ohm y para R_3 15.000. R_2 tiene el valor que resulta del cálculo de dividir la tensión que necesita la base por su corriente normal. Los valores para los diferentes tipos de transistores aparecerán cuando nos ocupemos de los circuitos amplificadores.

Amplificación con emisor a masa

Este montaje es el más difundido, por las razones de su mayor ganancia, tal como ya lo hemos comentado anteriormente. Pasamos la figura 45 a su representación mediante símbolos, y tenemos la figura 48, o sea que la señal de entrada se aplica a la base y la salida se toma del colector. Las polaridades son las que corresponden a este transistor N-P-N, pero si vamos

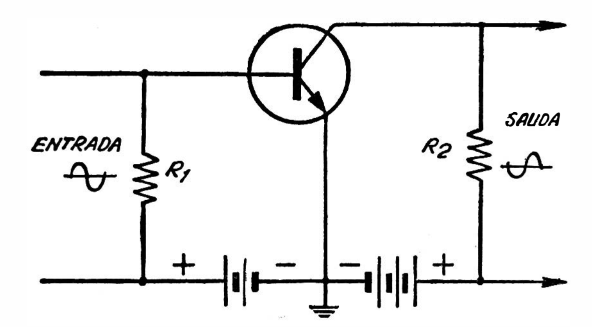


FIG. 48. — El transistor como amplificador de emisor a masa.

a un circuito práctico, como el de la figura 49, podemos poner un transistor P-N-P y entonces las polaridades se invierten, pues el emisor es positivo.

Como ocurrió para el caso de amplificador con base a masa, el circuito práctico tiende a economizar una batería, y comprobamos que en la figura 49 hay una sola. Para lograr esta disposición hay que polarizar la base y el colector con la misma tensión negativa, y si ello es un inconveniente para el tipo de transistor elegido, puede aumentarse el valor de la resistencia R_1,

a efectos de que la caída de tensión en la misma reduzca el potencial de base, por el efecto de la caída de tensión en esa resistencia. En razón de la baja impedancia de la base, la señal de entrada se aplica a través de un capacitor C_1 de alto valor, unos 10 microfarad; por razones parecidas, al aplicar la señal a la etapa siguiente, el capacitor de salida tiene el mismo valor. Hay dos cosas que aclarar con respecto a estos capacitores, el C_1 y el C_2. La primera se refiere a la necesidad de su uso, el cual obedece a evitar que el circuito anterior y el posterior estén afectados por la tensión continua de la base, para el anterior, y del colector para el que sigue, porque se sobreentiende que este transistor amplificador constituirá una etapa de un amplificador completo. La segunda aclaración se refiere a que, por tratarse de capacidades altas, se emplean electrolíticos, si bien pueden ser de baja aislación, por ser baja la tensión de la batería.

Los resistores empleados tienen valores que dependen del tipo de transistor, pero son usuales valores de 10.000 a 15.000 Ohm para R_1 y 50.000 para R_2.

Uno de los inconvenientes del circuito de la figura 49 es la existencia de la corriente inversa a que hicimos referencia en la figura 16, y que hasta ahora hemos dicho que no se tenía en cuenta. La corriente directa circula de base a emisor, pero la inversa de emisor a base, y sufre los efectos de amplificación del transistor, pu-

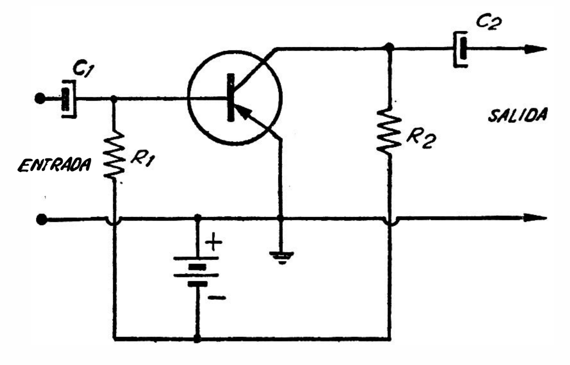


FIG. 49. — Polarizaciones con una sola batería en el amplificador de emisor a masa.

diendo alcanzar cifras grandes si la temperatura es variable, inclusive llegar al punto crítico de Zener e inutilizar el transistor.

Este efecto puede impedirse si se da al emisor una polarización negativa mediante la inserción de una resistencia R_2, como se muestra en la figura 50, llamada de *estabilización*. En efecto, el pasaje de la corriente de base a emisor sigue por esa resistencia en el sentido de la flecha, de modo que, como los electrones van siempre del negativo al positivo, se obtiene la polaridad indicada en la figura. Ahora, si se produce una elevación de la corriente inversa por efecto de la temperatura, aumentará la caída de tensión en R_2, y el aumento de polaridad negativa de un emisor tipo P frena el aumento de corriente. Por esa

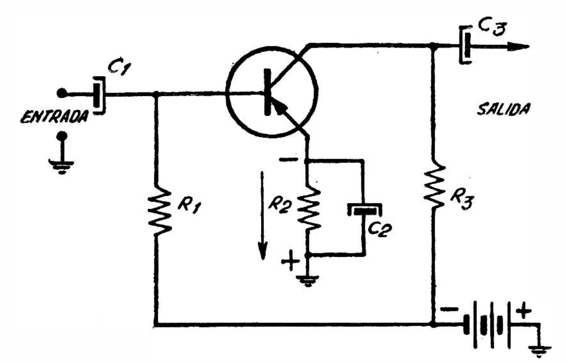


FIG. 50. — Polarización del emisor mediante una resistencia.

razón se obtiene una estabilización automática de la corriente, y de ahí el nombre de esta resistencia.

La inclusión del capacitor C_2 en el circuito de emisor es para evitar la pérdida de amplificación de señal, porque para las variaciones de la corriente, las cuales corresponden a la señal alterna, el capacitor es un camino de baja impedancia (*). Esto lo saben todos los que conocen la misión del capacitor de cátodo que se usa en las válvulas termoiónicas.

Los valores típicos en el circuito de la figura 50 dependen del tipo de transistor P-N-P utilizado, pero, por ejemplo, para un CK722 se emplean resistores de R_1: 100.000; R_2: 5.000, y R_3: 10.000 Ohm, respectivamente. El capacitor C_2 suele tener 10 microfarad, y los otros dos, igual que en la figura 49.

Una particularidad interesante del amplificador con emisor a masa es que se produce una inversión en la fase de la señal de salida con respecto a la de entrada. Recordemos que para el circuito de base a masa dijimos que las señales de entrada y salida estaban en fase. Veamos ahora cómo se produce esa diferencia, o sea ese defasaje. En la figura 48, supongamos que la señal de entrada tiene su semiciclo positivo, con lo que ese potencial se suma al básico que hay en la base, y siendo más positiva la base aumentará la corriente del emisor, o sea del transistor, por impeler a los electrones a circular en mayor cantidad. Al aumentar la corriente de colector, será mayor también a través de la resistencia R_2 y aumentará la caída de tensión en la misma, sien-

(*) Ver *Aprenda Radio en 15 días,* del mismo autor. (*N. del E.*)

do, en consecuencia menor la tensión en el colector. Luego, cuando la señal incursione hacia los valores positivos, o sea en aumento, la señal de salida incursiona hacia los valores negativos, o sea en disminución. Cuando la señal de entrada tiene su semiciclo negativo, se reduce el potencial de la base, disminuye su corriente y con ella la corriente de colector; será menor la caída de tensión en la resistencia R_2 y habrá mayor tensión positiva en el colector. Luego, cuando la señal de entrada incursiona hacia los valores negativos, o sea disminuye, la de salida incursiona hacia los aumentos. Resulta evidente que si las señales de entrada y de salida se representan por dos senoides, cuando la de entrada tiene su semiciclo positivo, la de salida tiene su semiciclo negativo, y viceversa. Esto se define como que no están en fase, sino defasadas en medio ciclo, o sea 180 grados. En la misma figura 48 se ha querido dejar sentada en forma gráfica la inversión de fase que ocurre entre las señales de entrada y salida. En efecto, para un instante dado, la senoide que representa la señal de entrada tiene su semiciclo positivo, y en el mismo instante la senoide de la señal de salida tiene el semiciclo negativo. Compárese esto con lo que se representó para la figura 46, donde las senoides estaban en fase, y se comprenderá la diferencia.

El detalle de que haya o no inversión de fase entre las señales de entrada y de salida carece de importancia, si se lo toma en cuenta en los circuitos. Más adelante veremos en qué casos ello es merecedor de ser considerado especialmente.

Amplificación con colector a masa

La idea de conectar a masa el colector de un transistor, que requiere una polarización alta, parece imposible, pero la denominación se refiere a la conexión a masa para la señal alterna, con lo que esa conexión puede hacerse a través de un capacitor de alta capacidad. Si el colector va a masa, nos quedan los otros dos electrodos para la entrada y la salida de la señal. En la figura 51 vemos que la entrada se hace por la base y la

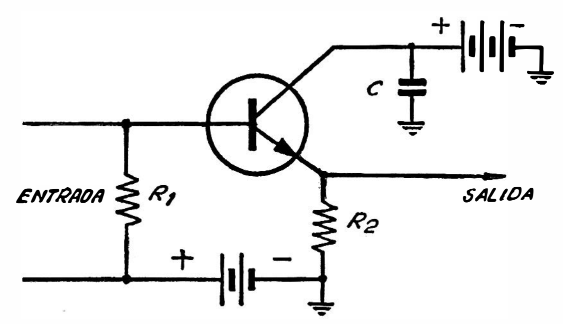


FIG. 51. — El transistor como amplificador de colector a masa.

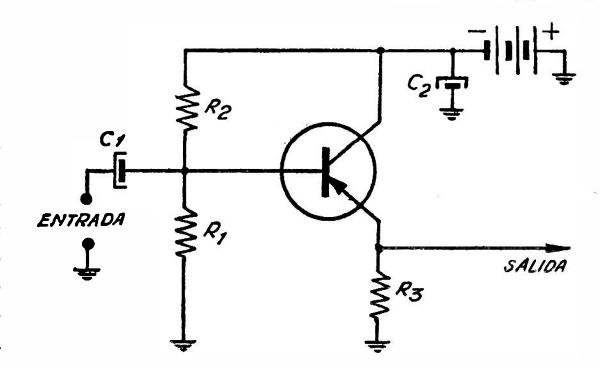


FIG. 52. — Polarizaciones con una sola batería del amplificador de colector a masa.

salida por el emisor. Hemos dibujado un transistor N-P-N, luego el emisor lleva polaridad negativa y la base y el colector, positiva. Para poder tomar la salida del circuito del emisor, es necesario insertar allí la resistencia de carga R_2. En la entrada, o sea en el circuito de base, va la conocida resistencia R_1. El capacitor C sirve de paso a la señal alterna, por lo que se puede suponer que el colector está a masa para esa señal, no así para la tensión continua, que es alta y positiva; decimos alta en relación con la de la base, ya que nunca los transistores llevan tensiones elevadas.

El hecho de que la señal de salida se tome del circuito del emisor en lugar del de colector, hace perder la propiedad amplificadora al transistor, de modo que no hay ganancia; luego debe haber otra razón para utilizar este montaje. En efecto, si consideramos que con respecto al colector, la señal de entrada y la de salida están en serie, aparece algo así como una inversión de colector con respecto a la base, lo que eleva la impedancia de esta última. En resumen, que el amplificador con colector a masa tiene alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida. Esta particularidad hace que no se lo emplee para obtener ganancia, la cual no existe, sino como adaptador o transformador de impedancias.

El circuito práctico no es el de la figura 51, con dos baterías, sino el de la figura 52, en el cual, con una sola batería se dan las polarizaciones debidas. Como es un transistor P-N-P, el emisor lleva polaridad positiva, que es la de masa, y el colector negativa, por la batería. La base se conecta al punto de unión de las resistencias R_1 y R_2, cuyos valores usuales son 50.000 y 100.000 Ohm respectivamente, con lo cual la base tiene una polaridad negativa de la tercera parte de la total de la batería. La resistencia del emisor es de unos 10.000 Ohm. Los capacitores tienen valores altos, por lo que son del tipo electrolítico, por las razones que ya se han dado anteriormente.

Día 5

Después de conocer la constitución física del transistor hemos estudiado la acción amplificadora del mismo, encontrándonos con la novedad que esa acción se aprovecha como amplificación de corriente, de tensión, de potencia y hasta ¡de resistencia!... El hecho concreto es que con un transistor conseguimos una ganancia en una magnitud eléctrica, y sabiendo elegir su montaje, pues tiene varios, son posibles altas ganancias. Se han estudiado todas las maneras de conectar un transistor para amplificar, aunque alguna de ellas no dé por resultado una amplificación sino que se obtiene otro resultado.

En todo el estudio realizado el día anterior no nos hemos apartado del carácter descriptivo, de modo que, para los que gustan de hacer números, falta considerar la parte que enseña a calcular las ganancias obtenidas, el uso de las curvas de funcionamiento que suministran las fábricas de transistores, para hacerlos trabajar en condiciones correctas, etc. Ese es nuestro tema de hoy, el estudio de las características y por lo tanto de los coeficientes de amplificación y otros detalles que surjan de las mismas. Debido al carácter elemental del estudio que estamos realizando, haremos referencias generales, sin entrar en los desarrollos matemáticos, que dejamos para los estudios más avanzados.

CARACTERISTICAS DEL TRANSISTOR

Curvas características

Para los que conocen algo de Radio, recordarán con facilidad que en el estudio de funcionamiento de válvulas se usaban unas curvas que relacionaban las tensiones con las corrientes de los electrodos, esto es, los valores correspondientes a la grilla y la placa. En este libro hemos eludido intencionalmente las comparaciones entre los transistores y las válvulas termoiónicas, para evitar el error de suponerlos demasiado parecidos. Por eso mantendremos ese criterio y describiremos las curvas características de los transistores como si las otras no existieran.

Todos los elementos que manejan tensiones y corrientes admiten que se haga un gráfico para ver cómo se relacionan esas magnitudes entre sí. Si pensamos en una resistencia a la que se le apliquen tensiones eléctricas variables, que ocasionarán circulación de corrientes eléctricas también variables, ya que la resistencia es un elemento fijo que no altera su valor, y queremos representar las variaciones de tensión y de corriente en un gráfico, nos encontramos con el que muestra la figura 53. Supongamos que tenemos una resistencia de 5 Ohm, y le aplicamos una tensión de 10 Volt; circulará una corriente que se obtiene dividiendo 10 por 5, y resultan 2 Amper. El punto donde se cruzan las líneas de 10 Volt y de 2 Amper es uno por el que pasará la curva; otro era el punto cero Volt, cero Amper, pues cuando no hay tensión no hay corriente. Si aplicamos 20 Volt, circulará una corriente de 4 Amper, y así siguiendo obtenemos los distintos puntos de la curva, que no es tal

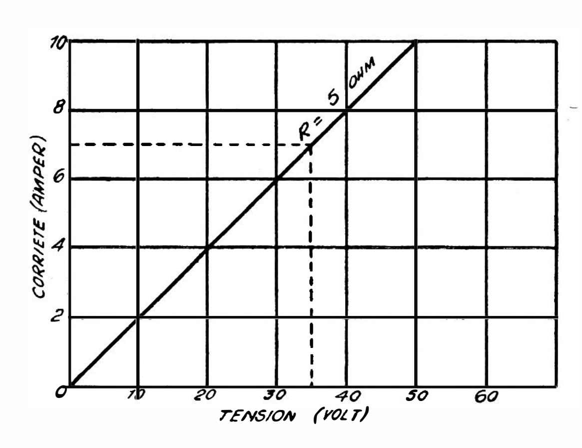


Fig. 53. — Gráfico que da las variaciones de corriente y tensión en una resistencia.

curva sino una línea recta, válida para un valor de resistencia de 5 Ohm.

Si en un momento dado queremos saber cual será la corriente que circularía si se aplicara una tensión de 35 Volt, buscamos ese punto en el eje horizontal y subimos desde él (línea de puntos) hasta la recta oblicua, y comprobamos

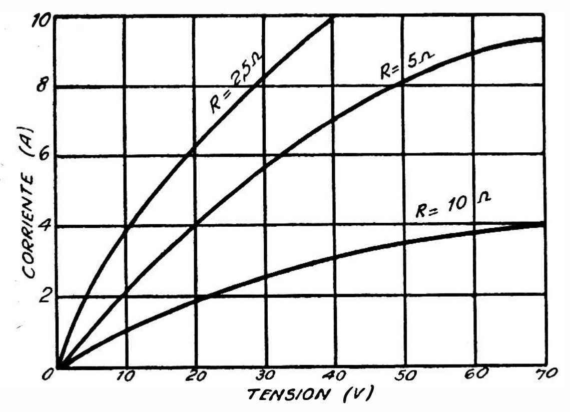


Fig. 54. — El mismo gráfico anterior, pero teniendo en cuenta las variaciones de temperatura de la resistencia.

que la corriente será de 7 Amper. Si el lector desea hacer otras comprobaciones, le será fácil admitir la utilidad del gráfico, que le economiza realizar operaciones cada vez que quiere saber el valor de la corriente, con esa resistencia dada.

Pero hay que formular dos objeciones a lo dicho. La primera es que hemos supuesto que la resistencia no se altera, que su valor es fijo; en la realidad, la resistencia se altera al calentarse, es decir, que su valor sufre variaciones al pasar la corriente. Dicho de otra manera, cuando aumenta la tensión que le aplicamos, aumenta la circulación de corriente, la resistencia se calienta, y aumenta su valor, con lo que la corriente no tendrá el valor dado por el gráfico de la figura 53. Por ejemplo, si la resistencia es de alambre metálico, su valor aumenta con la temperatura, y cuando aplicamos 40 Volt, en lugar de circular 8 Amper, circularán unos 6,5 Amper. Si trazamos prolijamente el gráfico real, con la ayuda de instrumentos de medición, tendríamos lo que nos muestra la figura 54, curva para R = 5 Ohm (obsérvese que en lugar de la palabra Ohm se ha puesto la letra griega omega, para acostumbrar al lector a las abreviaturas; también hemos puesto V y A, para Volt y Amper respectivamente).

El otro punto objetable es que el gráfico de la figura 53 servía solamente para una resistencia de 5 Ohm. En la figura 54 se han incluído tres curvas, para tres valores de resistencia, y podrían agregarse muchas más. Es evidente que disponiendo de gráficos completos obtendríamos utilidad de los mismos, pues nos ahorrarían operaciones, por una parte, y nos darían valores reales, por la otra, ya que contemplan los efectos de la temperatura o cualquier otro que hubiera.

Para los transistores también se pueden trazar curvas que vinculen la tensión y la corriente, y lo hacen las fábricas en sus laboratorios. Veamos el que muestra la figura 55. Da la corriente de colector para distintos valores de la tensión de colector, siempre referida a cierta cifra de la corriente de base; por eso se ven varias curvas, cada una correspondiente a un valor de la corriente de base. Como en lo sucesivo encontraremos a menudo letras simbólicas en lugar de los nombres de las tensiones y las corrientes, conviene especificar sus equivalencias:

I_E = corriente de emisor
I_B = corriente de base
I_C = corriente de colector
E_{CE} = tensión entre colector y emisor
E_{BE} = tensión entre base y emisor
E_{CB} = tensión entre colector y base

Con las precedentes equivalencias podremos interpretar los gráficos que aparecen en los manuales técnicos. Vemos ahora las curvas de la figura 55, que corresponden a la conexión de emisor a masa del transistor 2N396, elegido al azar. Dada una corriente de base, tenemos una

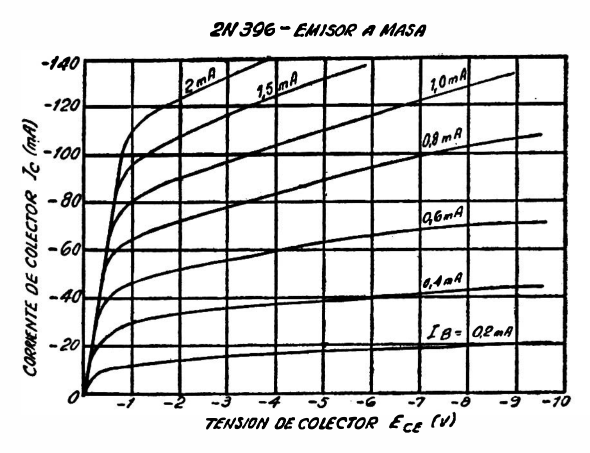


Fig. 55. — Gráfico que da la corriente de colector en función de la tensión de colector, para distintas corrientes de base, con emisor a masa.

curva, y ella nos da, para cada tensión de colector, la corriente de colector que circulará.

En este gráfico se observa que la zona comprendida entre cero y un Vol de colector tiene superpuestas todas las curvas, y se carece de detalles precisos de los valores. Por eso, algunas fábricas dan una expansión del gráfico en esa

zona, como el que muestra la figura 56. Véase que se ha tomado la zona comprendida entre cero y 0,2 Volt de colector y ya no se superponen las curvas, sino que quedan bien separadas, una para cada valor de corriente de base; la figura 56 corresponde al transistor 2N395.

Generalmente, las curvas correspondientes a la conexión con base a masa son diferentes de las que se dan para emisor a masa. Las diferencias en los circuitos pueden repasarse observando las figuras 47 y 49, pero las curvas de tensión y corriente de colector, para distintos valores de la corriente de emisor en montaje con base a masa, pueden verse en la figura 57, para un transistor tipo 201 de la fábrica Texas. Nótese que en este caso la zona inicial del gráfico se ha expandido alargando la escala, con lo que se evita la superposición de las curvas. Se ha mostrado este gráfico para que oriente al lector acerca de las diferencias que encontrará en los diferentes manuales y catálogos de transistores. Es evidente que no podemos ofrecer todas las curvas características de todos los transistores existentes, porque sería menester un libro voluminoso dedicado exclusivamente a ello.

Otras fábricas preparan sus gráficos de diferente manera. Tomemos, por ejemplo el transistor Philips OC72. Su terminología y técnica son europeas, y la manera de ofrecer sus características difiere de las anteriores, típicamente americanas. La figura 58 nos muestra las curvas características del transistor mencionado, en el

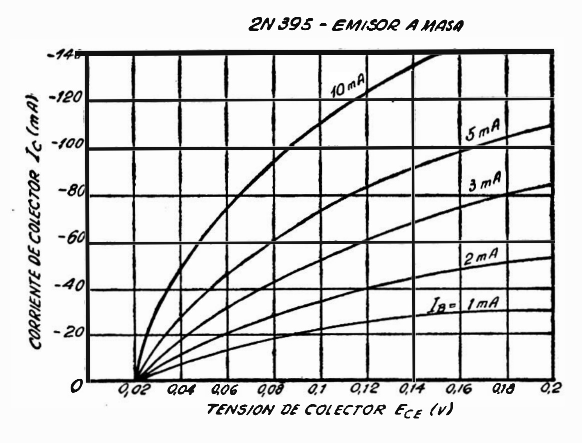


Fig. 56. — Ampliación del gráfico anterior en la zona de baja tensión en colector.

montaje de emisor a masa. Por lo pronto, se dan en un mismo gráfico varias curvas características, que vinculan las corrientes y tensiones de distintos electrodos. Es de destacar que la fábrica suele especificar puntos típicos, como el de la tensión residual de colector para una dada curva de corriente constante de base. En la figura 58 se da el punto, para el cual la tensión colector-emisor es de 1 V y la corriente de colector 135 mA.

Otras curvas vinculan la corriente de un electrodo con la tensión de otro, por ejemplo la corriente de colector con la tensión entre emisor y base. Se las suele llamar *características de*

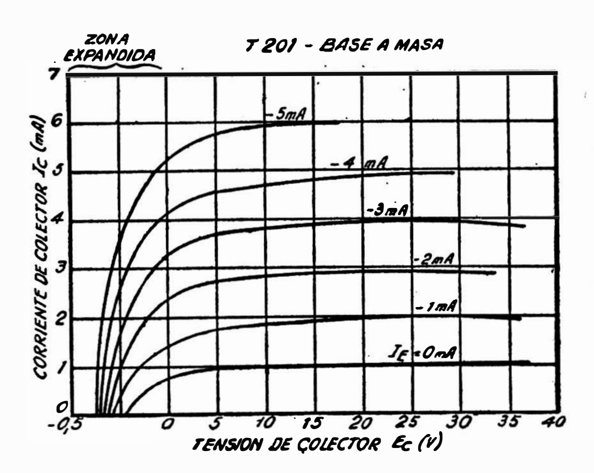


Fig. 57. — Gráfico de corriente y tensión de colector, pero con base a masa, para distintas corrientes de emisor.

transferencia, y en la figura 59 se da un ejemplo que corresponde al transistor 2N2102, en montaje con emisor a masa. Las curvas son varias, cada una para un dado valor de la corriente de base, y sus aplicaciones son numerosas en el diseño de circuitos.

Si pensamos un poco en los conocimientos que tenemos sobre Radio, y recordamos las características de las válvulas termoiónicas, convendremos en que también para ellas había dos tipos de curvas, las que vinculaban la tensión y la corriente de un electrodo, por ejemplo la placa, y las que vinculaban la tensión de un electrodo con la corriente de otro, por ejemplo la tensión de grilla con la corriente de placa. Quiere decir que, disponiendo de las curvas características de un transistor, que figuran en los manuales y catálogos, podemos obtener de ellas los valores típicos de trabajo, bajo diversas condiciones. Pero, además de las curvas características de los transistores, tenemos las tablas de características, que también pueden usarse para conocer las condiciones de trabajo. Y en esto también podemos hacer la mención paralela con las válvulas, pues los manuales dan ambas cosas, curvas y tablas, y mediante unas y otras pueden determinarse las condiciones de trabajo. Muchos prefieren las tablas, que si bien dan menos datos, por lo menos especifican las condiciones norma-

FIG. 58. — Otra forma de preparar los gráficos de tensiones y corrientes en un transistor.

les aconsejadas por la fábrica, y eso es suficiente en la mayoría de los casos. Por ello, describiremos las mentadas tablas de características.

Tablas de características

Tan útiles como las curvas, estas tablas permiten obtener las cifras de trabajo, para poder completar los circuitos que emplean transistores. En numerosos manuales técnicos, y en los catálogos de las fábricas se encuentran las cifras mencionadas, a veces en forma de tablas, como se ha dicho, y otras agrupadas para cada transistor, incluyendo el símbolo gráfico, los esquemas y curvas y una serie de recomendaciones propias de cada unidad.

La ventaja de las tablas es que puede elegirse el transistor necesario con mayor facilidad, al encontrarlos en columnas; buscando los valores de corriente, tensión o potencia que se requieren en el circuito, se tiene el tipo de transistor a elegir, sin dejar de lado el problema de la existencia en plaza.

Las tablas suelen tener dos informaciones, las referentes a los *regímenes máximos* y al *funcionamiento normal* o *típico*. Cuando se busca un transistor, es lógico que usaremos la tabla de funcionamiento típico, pero es prudente verifi-

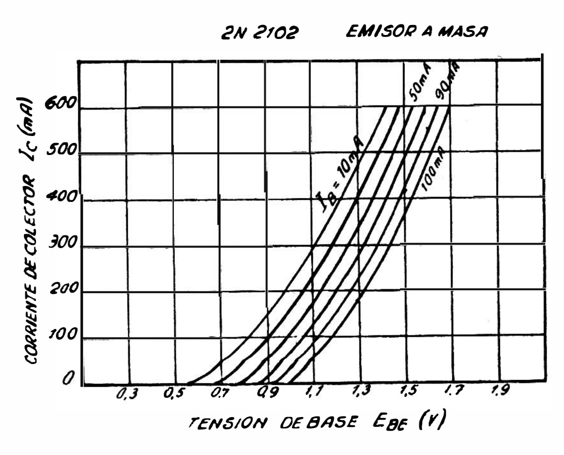


FIG. 59. — Características llamadas de transferencia.

car las cifras máximas en la otra tabla, porque muchos circuitos presentan la particularidad de exceder ocasionalmente las cifras de trabajo habitual.

Veamos un modelo de tabla de características de transistores, que cuenta con las dos secciones que se han mencionado. Debajo de la cabecera se han colocado datos referentes a un par de transistores, a título ilustrativo, porque no es nuestro objeto ofrecer un catálogo completo. A continuación nos ocuparemos de explicar cada una de las cifras que aparecen en las tablas.

CARACTERISTICAS DE TRANSISTORES

Regímenes máximos

Tipo	*Clase*	*Tensión de colector* V.	*Corriente de colector* mA.	*Disipación de colector* mW.	*Amplificación de corriente* β	*Resistencia de emisor* Ω	*Resistencia de base* Ω	*Resistencia de colector* MΩ	*Frecuencia funcional* Mc/s	*Temperatura funcional* °C
OC70	P-N-P	—10	—10	75	30	30	1.000	1,38	0,3	45
2N77	P-N-P	—25	—15	35	55	23	1.430	3,93	0,7	50

Funcionamiento típico

Tipo	*Circuito*	*Tensión de colector* V.	*Corriente de colector* mA.	*Resistencia de entrada* Ω	*Resistencia de carga* Ω	*Ganancia de potencia*	*Potencia de salida* mW.
2N77	Em	—4	—0,7	1.980	100 K	44	—
OC72	Em	—6	—50	500	70	25	220

Unidades empleadas

En la cabecera de la tabla de características aparecen cifras de corriente, tensión, resistencia, potencia, frecuencia, temperatura y ganancia. Las unidades de todas esas magnitudes son conocidas para los lectores que tienen conocimientos de Electricidad y Radio, aunque los mismos no sean muy profundos. Pero si nos referimos a transistores, debemos acostumbrarnos a las unidades que se emplean cuando se trabaja con circuitos que los contengan.

Las tensiones se dan siempre en Volt, y su abreviatura es V. Las corrientes se dan en miliamper, abreviándose mA. Las resistencias se dan en Ohm, lo que se abrevia con la letra griega Omega (Ω), o en Megohm, millones de Ohm, que se abrevia anteponiendo una M a la letra Omega (MΩ). La potencia manejada por los transistores es una cifra pequeña, por lo que la unidad usada es el miliwatt, que se abrevia mW. Nos quedan las cifras de frecuencia límite y de temperatura ambiental o funcional; la frecuencia se especifica siempre, por las razones que explicamos en el capítulo tercero, y se da en Megaciclos por segundo, abreviándose Mc/s. La temperatura se da en grados centígrados (°C). Las ganancias o amplificaciones, sean de corriente o de potencia, no tienen unidad, pues se trata simplemente de un número que resulta de dividir dos cantidades de igual unidad. La letra griega Beta (β) que aparece en la columna de la amplificación de corriente será explicada más adelante.

Obsérvese que, a veces, la columna tiene una unidad marcada en su cabeza, pero dentro del cuadro se introducen símbolos que modifican tal unidad. Por ejemplo, en una columna de resistencia se coloca la unidad Ohm, y dentro de la tabla, para escribir una cantidad de 100.000

Ohm ponemos solamente el número 100 seguido por la letra K, que significa *Kilo,* o sea mil veces. También podría aparecer una letra M, que significa *Mega,* o sea un millón de veces. Estas cosas se emplean para simplificar la tabla.

Las primeras columnas de la tabla no tienen unidad, pues se refieren al tipo de transistor, a la clase y al circuito para el cual se dan los datos. El *tipo* es un dato de fábrica, es el nombre o designación, por ejemplo OC70, y es el dato que usamos para comprarlo, para identificarlo en los circuitos.

La *clase* se refiere al aspecto de índole constructiva que sirve para conocer las polaridades que aplicaremos a sus electrodos. Hay clases NPN y PNP, según ya sabemos.

El *circuito* de aplicación de un transistor puede ser de tres tipos; no es una información atingente al circuito en si, sino a la manera de conectar el transistor. Sabemos que puede conectarse en montaje de *emisor a masa, base a masa* y *colector a masa,* siendo más común el primero. También suelen denominarse esos tres montajes como *emisor común, base común* y *colector común.* En las tablas se indica el tipo de conexión con las iniciales Em, Bm y Cm, si nos referimos a la unión a masa. Si se prefiere la palabra *común* en lugar de hacer la referencia de la *masa,* las abreviaturas son: EC, BC y CC.

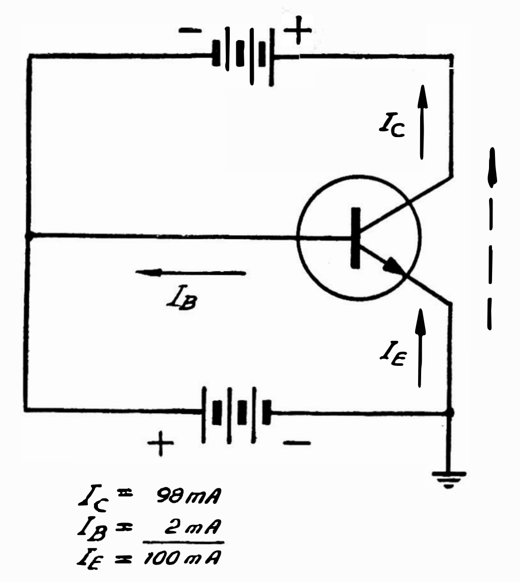


Fig. 60. — Representación esquemática de las tensiones y corrientes en un transistor.

Cifras de tensiones y corrientes

A pesar de que ya se ha explicado, conviene repasar la distribución de corrientes en un transistor. Tomemos el caso más común de circuitos con emisor a masa, y hagamos el esquema que muestra la figura 60, que sacamos de un manual R. C. A. Se trata de un transistor NPN, luego el emisor lleva polaridad negativa y el colector positiva.

Las flechas indican los sentidos de circulación de los electrones, que representan la corriente directa. La flecha cortada exterior indica un sentido general de circulación que corresponde a la polaridad de las baterías, y que nos da una imagen del transistor que es muy cómoda. Obsérvese que la corriente de emisor se bifurca en el transistor, yendo parte de ella a la base y el resto al colector. En la parte inferior se dan cifras, correspondientes a un caso cualquiera, y vemos que la suma de las corrientes del colector y de la base nos da la corriente total de emisor, cosa que ya sabíamos.

La figura 60 es un circuito no real, porque no se usa un transistor para conectarlo sin aplicarle señal. En cuanto se aplica una señal alterna, las corrientes cambian de valor, como lo muestra la figura 61. Hay un incremento de la corriente de emisor, y los consiguientes aumentos de las corrientes de base y de colector. Véase la suma que se ha hecho al pie de la figura. Se mantiene la condición conocida de que la suma de las corrientes de base y colector da la corriente de emisor, luego los crecimientos de corriente son proporcionales en cada electrodo.

Lo dicho nos sirve para evitar poner en las tablas todas las corrientes. De hecho bastaría colocar dos de esas corrientes para tener conocida la tercera. Pero las corrientes están vinculadas entre sí por la cifra de ganancia o amplificación de corriente del transistor, como veremos de inmediato.

Las tensiones especificadas son de dos tipos; por un lado se marca la cifra límite, que no debe ser superada en ningún caso. Por otro lado se expresa el valor típico o normal, que es la tensión de trabajo. En los circuitos se adopta esta última cifra, pero debe revisarse que bajo ninguna condición de funcionamiento se supere la cifra límite.

Factores de amplificación

Usando transistores se puede hablar de varias clases de amplificación o ganancia, tal como ya lo hemos explicado en los días anteriores. Esencialmente, sabemos que el transistor es un amplificador de corriente, pero su ventaja utilitaria surge de una especie de amplificación de resistencia. En efecto, si observamos las tablas o recordamos las cifras de resistencia de las junturas que mencionamos oportunamente, notare-

mos que siempre la resistencia del colector es mucho mayor que la de base o la de emisor. Cualquiera de los montajes, base a masa o emisor a masa, preferiblemente este segundo, nos permite disponer de una amplificación de resistencia, aparte de la amplificación de corriente que da el sistema de emisor a masa. Sabemos también que la amplificación de tensión se calcula multiplicando la amplificación de corriente por la amplificación de resistencia, y que la amplificación o ganancia de potencia se obtiene multiplicando entre sí las amplificaciones de corriente y de tensión.

Veamos ahora la definición técnica que se emplea para estas cosas. Desde que existen dos montajes amplificadores, el de base a masa y el de emisor a masa, habrá que definir dos factores de amplificación, aunque uno de ellos no resulte muy formal, ya que no es una amplificación propiamente dicha.

En el montaje de base común o a masa, el factor de amplificación de corriente se designa con la letra griega *Alfa,* y se define como el cociente entre las variaciones de corriente de colector y de emisor:

$$\alpha = \frac{\text{variación corriente colector}}{\text{variación corriente emisor}}$$

En el montaje con emisor común o a masa, el factor de amplificación de corriente se designa con la letra griega *Beta,* y se define como el cociente entre las variaciones de corriente de colector y de base:

$$\beta = \frac{\text{variación corriente colector}}{\text{variación corriente base}}$$

Tomemos un caso cualquiera con cifras de corrientes, por ejemplo el que está expresado en las figuras 60 y 61. El transistor de la figura 60 no tiene señal aplicada, y al aplicar la señal a la base, se produce un incremento de corrientes, dadas en la figura 61, de tal modo que las variaciones de corriente pueden ser calculadas. Veamos.

Variación corriente colector .... 147 — 98 = 49 mA
Variación corriente base .... 3 — 2 = 1 mA

Para obtener el factor de amplificación de corriente, circuito de emisor a masa, debemos dividir ambas cifras, o sea:

$$\beta = \frac{49}{1} = 49$$

es decir, que la amplificación de corriente es Beta = 49.

Veamos otra manera de obtener el factor de amplificación de corriente. La figura 62 nos muestra las curvas características de colector de un transistor: Para cada valor de la corriente de base hay una curva que vincula la tensión de colector con la corriente de ese electrodo. Esto ya lo hemos visto en la figura 55, pero ahora veremos una de las utilidades de estas curvas. Tomemos una cierta tensión de colector, que será la de trabajo o típica, y sea 6 Volt. Sobre la recta vertical que pasa por ese valor 6 V. to-

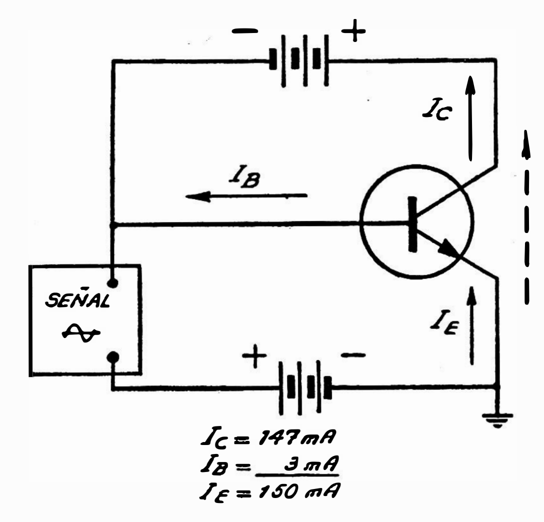


FIG. 61. — La misma representación de la figura 60, pero aplicando señal.

memos dos puntos como los A y B. Para el A, la corriente de base es de 0,2 mA y la de colector, leída en el eje vertical de la izquierda, es 18 mA. Para el punto B esas dos corrientes son: base 0,4 mA y colector 36 mA. Las variaciones que se han obtenido son:

Variación colector: 36 — 18 = 18 mA.
Variación base: 0,4 — 0,2 = 0,2 mA

Hagamos el cociente entre esas dos cifras, y tendremos el factor de amplificación de corriente para montaje de emisor a masa:

$$\beta = \frac{18}{0{,}2} = 90$$

Cifra que se ha obtenido de las curvas características, y que, por supuesto, encontraremos en la tabla, en el renglón correspondiente al transistor al cual corresponden las curvas de la figura 62.

Es interesante mencionar que conociendo uno de los dos factores de amplificación puede calcu-

larse el otro, mediante un par de fórmulas. No es el propósito de esta obra el dar desarrollos matemáticos, pero para los amigos de hacer cálculos, damos las dos fórmulas, pidiendo a los lectores que nos han seguido hasta ahora que las consideren puramente auxiliares. Esas fórmulas son:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

Otro detalle de interés, es ver cómo se obtiene ganancia con el transistor, siendo el factor de

Luego, podemos obtener la ganancia de tensión, multiplicando la ganancia de corriente por la ganancia de resistencia:

$$0{,}98 \times 100 = 98$$

Y vemos que, pese a que no hay una verdadera ganancia de corriente en circuitos de base a masa, se obtiene una ganancia de tensión. Es de imaginar que en circuitos de emisor a masa habrá siempre ganancias de corriente, de tensión y de potencia mayores que en los circuitos de base a masa, pues siempre interviene el factor Beta y no el Alfa.

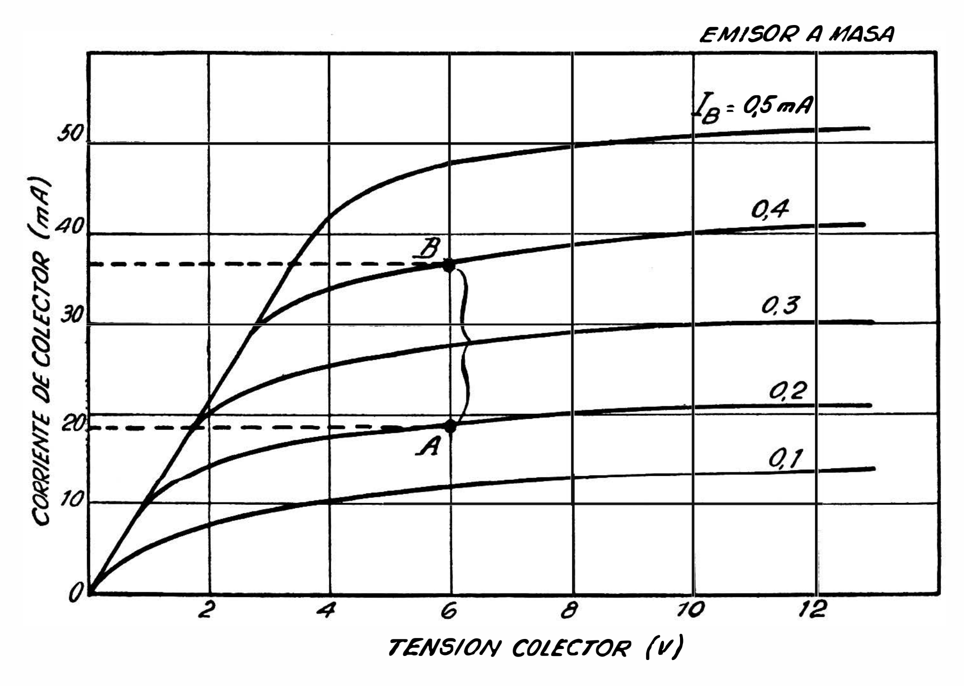


FIG. 62. — Obtención gráfica del factor de amplificación de corriente.

amplificación de corriente en los circuitos de base a masa siempre un número menor que uno, pues es una cantidad decimal. Obsérvese que en las tablas se dan dos resistencias, la de entrada y la de salida. En los montajes de base a masa también habrá dos resistencias, y supongamos que los datos sean: resistencia de emisor 500 Ohm; resistencia de colector 50.000 Ohm. La ganancia de corriente, con base a masa, es la cifra Alfa, y su valor sea 0,98. La ganancia de resistencia de que hemos hablado tantas veces se calcula dividiendo las dos resistencias dadas:

$$\frac{50.000}{500} = 100$$

Frecuencia de corte

La frecuencia límite de trabajo en los transistores es un detalle muy importante para tenerlo en cuenta en el diseño de circuitos, y está vinculada al tiempo de tránsito de los electrones a través del transistor, como se ha explicado anteriormente. Excedida la frecuencia límite o de corte, cae rápidamente la ganancia de corriente y deja de ser utilizable con ventaja el transistor. Por esta razón el dato de la frecuencia aparece siempre en las características técnicas de los transistores.

La figura 63 nos muestra la dependencia de la ganancia de corriente referida a la frecuencia de trabajo. El gráfico muestra particularmente

la variación que experimenta Beta, ganancia en circuitos de emisor a masa, ya que Alfa, por tener un valor cercano a la unidad, está poco afectado por la frecuencia. A fin de fijar cifras, se especifica que la *frecuencia de corte* es aquella tancia que para las válvulas, debido a que en el transistor, la conductividad del germanio impuro está afectada en forma muy sensible por la temperatura. Por ejemplo, las curvas características se dan siempre para una cierta temperatu-

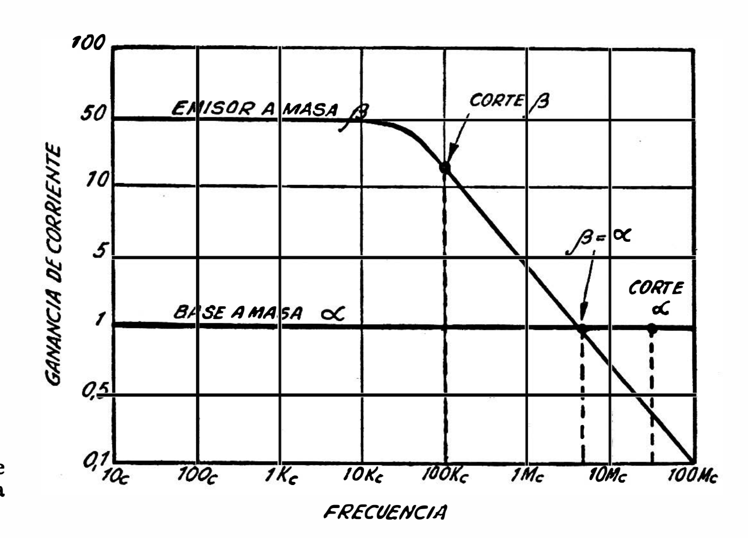


FIG. 63. — Variaciones de la amplificación según la frecuencia de trabajo.

para la cual la ganancia del transistor cae al 70 % de su valor, tomando éste a frecuencia por debajo de la de corte.

Hay un punto característico en el gráfico, y es aquel para el cual la ganancia Beta ha caído al valor igual a Alfa, o sea aproximadamente igual a uno. En ese caso, el transistor con emisor a masa se comporta como uno de base a masa, en lo que respecta a su amplificación de corriente.

Temperatura ambiental

Otro factor a tener en cuenta en los transistores es la temperatura del ambiente en que trabajarán. Este detalle tiene mucha mayor impor-

ra, y las dadas en las figuras 55, 56 y 57 corresponden a 25°C. Muchas veces, cuando hay riesgo de exceder la temperatura fijada en las tablas, ha de colocarse un disipador térmico al transistor, similar al que fue descripto en la figura 38.

La temperatura ambiental no se refiere a la masa del transistor, sino al aire que lo rodea. Si el recinto o gabinete que contiene a los elementos del circuito está colocado en un ambiente frío, pero dentro de gabinete hay elevación de temperatura por haber objetos de alta disipación, la temperatura que debe tenerse en cuenta es la interior. Los datos que figuran en las tablas se refieren a la temperatura que figura en las mismas, y saliendo de ella, los datos deben ser verificados.

Día 6

Ya conocemos un poco mejor a los transistores, sabemos cómo hacen para amplificar una señal y cuánto la amplifican. Hemos penetrado en el dominio de los gráficos de funcionamiento, y podemos deducir de ellos importantes datos para nuestros circuitos. Pero todavía nos falta mucho para poder analizar un circuito completo de transistores, digamos, por ejemplo, un receptor portátil. Hay allí varios transistores, cada uno de los cuales realiza una función determinada, y es menester conocer bien esa función y la manera como el transistor la cumple.

Como la mayoría de los equipos que emplean transistores terminan en un parlante productor de sonido, tienen como sección importante un amplificador de potencia, ya que para accionar a dicho parlante se requiere cierta potencia eléctrica. Así es como estamos entrando, ineludiblemente, en nuestro tema de hoy, la amplificación de potencia. No se trata ya de una mera función amplificadora, que ya hemos estudiado, sino de un montaje que nos entregue una señal que tenga la suficiente potencia para hacer vibrar a un cono de cartón, el cual nos producirá ondas sonoras. La teoría de cómo el parlante produce presiones y depresiones en el aire, para hacerlo vibrar y formar esas ondas sonoras, la dejaremos para que el lector la lea en cualquier libro de radio (*), o la dé por sabida.

AMPLIFICACION DE POTENCIA

Amplificación de potencia en clase A

El título que precede nos habla de una cierta clase de amplificación, y para los que saben Radio, eso les resultará familiar, porque recuerdan que se han establecido tres clases de amplificación, llamadas clases A, B y C; hay también clases intermedias, como la clase AB y todavía se le ponen a esta última subíndices con números 1 ó 2. Con transistores simplificaremos esa compleja denominación porque usualmente sólo tendremos dos clases, la A y la B. Y podemos dar una definición simplificada de esas dos clases para que los lectores poco avezados no tengan dificultades.

Suponiendo una señal de carácter alternado, como es común, un transistor amplifica en *clase A* cuando el mismo recibe la señal durante todo el ciclo y la entrega a la salida también durante todo el ciclo. Es decir que, siendo la señal alterna representada por ciclos senoidales, y teniendo los mismos un semiciclo positivo y otro negativo durante cada ciclo, el amplificador en clase A entrega y recibe los dos semiciclos, en su orden.

(*) Ver *Aprenda Radio en 15 días*, del mismo autor. (*N. del E.*)

Se llama amplificación en clase B cuando un transistor sólo entrega medio ciclo, o sea uno de los dos semiciclos de la señal alterna; en consecuencia, para un amplificador *clase B* se necesitarán dos transistores para completar el ciclo de la señal, con sus dos semiciclos. Las razones para emplear este sistema aparentemente complicado las trataremos más adelante.

Encaremos ahora la amplificación clase A. Todo lo que hemos estudiado anteriormente sobre amplificación corresponde a esta clase, porque siempre supusimos que aplicábamos la señal a un transistor, sea en cualquiera de sus electrodos, y obteníamos en otro electrodo la señal amplificada, pero entera, con sus dos semiciclos, con la misma forma de onda que tenía antes de la amplificación. Esto último suponiendo que no hay deformación de onda, pero eso es otro tema, que será abordado oportunamente. Sabemos también que el montaje más conveniente era con emisor a masa, entrada de señal por la base y salida por el colector, pero siempre era amplificación en clase A.

Lo único que debemos puntualizar es que en la amplificación que hemos estudiado anteriormente, si teníamos una señal de entrada que se medía como un cierto valor de tensión, a la

salida obteníamos una tensión de valor mayor; eso correspondía a un amplificador de tensión. Y también hemos visto que en realidad, el transistor es un amplificador de corriente o, si se quiere, de resistencia, pero que la función de amplificar tensión la hemos aprovechado mediante el artificio de hacer cálculos, multiplicando valores de corriente por valores de resis-

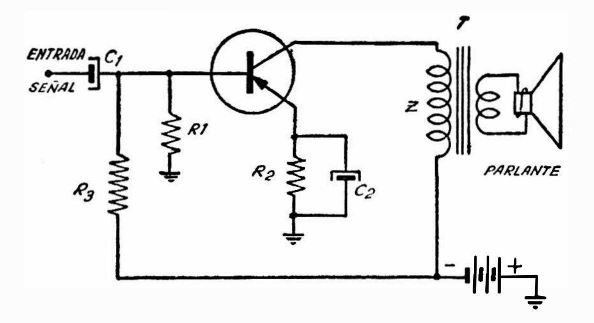


Fig. 64. — Esquema de un amplificador de potencia en clase A.

tencia, y claro, esas operaciones nos dan tensiones por resultado.

Ahora debemos obtener potencia, o sea que debemos ganar corriente y tensión a la vez, y para eso se necesitan transistores especiales, capaces de manejar corrientes más elevadas que los comunes. Tales transistores existen, según ya lo hemos visto, y se llaman transistores de potencia o amplificadores de potencia.

La figura 64 nos muestra un circuito amplificador de potencia en clase A, con un transistor adecuado para esa función. La señal de entrada es una señal alterna, proveniente de las etapas previas, y entra al circuito a través de un capacitor C_1, de alta capacidad, para evitar que la tensión continua presente en la base del transistor y en la etapa previa, se interaccionen entre sí.

Casi todos los elementos que aparecen en el circuito nos resultan conocidos. No hay más que volver a la figura 50 para comprobarlo. La única diferencia está en que la salida que antes tenía un conjunto de resistencia y capacitor (R_3 y C_3, en la Fig. 50) son reemplazados por un transformador T y el parlante en la figura 64. Sabemos que el conjunto R_2 y C_2 están para polarizar el emisor, y que el conjunto de R_3 con R_1 dan la polaridad adecuada a la base, en forma similar a lo que se lograba con R_1 y R_2 en la figura 52. Quiere decir que lo único nuevo que debemos explicar es la misión del transformador T. Los valores de los componentes se dan para cada tipo de transistor, y eso lo veremos en los circuitos prácticos.

El parlante reproductor de sonido tiene una bobinita que está arrollada en el cilindro central adosado al cono de cartón, y que se llama *bobina móvil,* precisamente porque se mueve y su movimiento es el que hace vibrar al cono de cartón. El movimiento tiene origen en la acción dinámica que aparece entre el campo magnético del imán del parlante y la corriente que recorre esa bobinita. Este fenómeno pertenece al tema de radio en general, y no nos interesa en este momento.

El hecho concreto es que la bobina móvil tiene muy baja resistencia, que no puede conectarse directamente al colector del transistor. La razón de que no se pueda conectar directamente es porque para máximo rendimiento se exige un cierto valor de resistencia de carga, que así se llama la resistencia del circuito de salida (recordar Fig. 44). Pero esto merece ser estudiado más detalladamente.

Resistencia óptima de carga

Tomemos las curvas características de colector del transistor de potencia de la figura 64, y sean las que muestra la figura 65. No debe preocuparnos a qué transistor pertenecen, pues estamos dando una explicación de carácter general. La tensión recomendada como de trabajo para el colector sea de 6 Volt, y la máxima corriente de colector sea de 50 mA, es decir 0,05 Amper. Tracemos una línea inclinada que pase por el punto de esa corriente máxima sobre el eje vertical y por el que marca el doble de la tensión normal de colector, o sea 12 Volt, en el

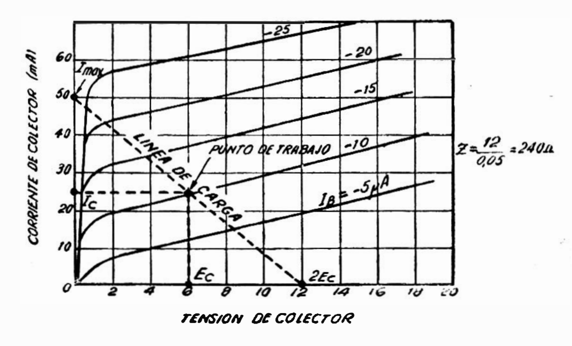


Fig. 65. — Condiciones de trabajo de un transistor amplificando en clase A.

eje horizontal. En la figura 65 la hemos dibujado con trazos; esta línea se llama *de carga.* Veamos el porqué.

El punto central de la línea de carga pasa por el punto que tiene 6 Volt como tensión y 25 mA como corriente, que son los valores normales de trabajo para nuestro transistor. Si dividimos los valores que marca el eje horizontal, por los que

marca el eje vertical, estamos dividiendo tensiones por corrientes, o sea que el resultado nos da valores de resistencia, en Ohm. En el caso de la línea de carga esa operación la hemos indicado al margen de la figura y resultó 240 Ohm. Bueno, este es el valor de la resistencia óptima de carga para nuestro transistor.

Quiere decir que para obtener el mejor rendimiento del transistor que hemos elegido para nuestro circuito, con la tensión utilizada, la resistencia de carga debe tener un valor de 240 Ohm. Evidentemente la bobina móvil del parlante no tiene valores tan altos, y hay que hacer una *adaptación de impedancias.* El transformador T de la figura 64 es, entonces, un adaptador de impedancias.

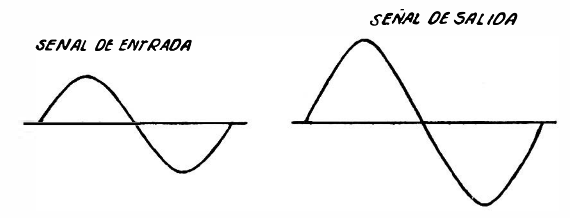


FIG. 66. — Un amplificador clase A aumenta el tamaño de la senoide completa.

¿Cómo se hace para adaptar impedancias mediante un transformador? La teoría de este hecho es muy compleja para estudiarla bien, pero podemos simplificarla diciendo que si arrollamos sobre un núcleo de hierro dos bobinados con distintas cantidades de espiras, la impedancia que se conecte sobre uno de los bobinados resulta modificada sobre el circuito en que está el otro bobinado; y quien dice impedancia puede extenderlo al caso de una resistencia. Por ejemplo, en la figura 64, si el parlante tiene una bobina móvil de 5 Ohm de resistencia, y el transformador tiene doble cantidad de espiras en el bobinado de la izquierda, la resistencia o impedancia Z que aparece en el circuito del colector será de 20 Ohm. Doble cantidad de espiras significa cuatro veces la impedancia; triple cantidad de espiras significa nueve veces la impedancia y así siguiendo. En general, la relación de impedancias es igual al cuadrado de la relación de espiras.

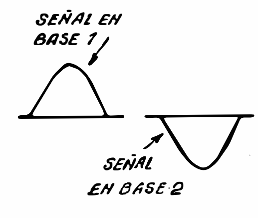
En nuestro caso numérico habíamos supuesto que el parlante tenía 5 Ohm y que el transistor necesitaba 240 Ohm de carga. Dividiendo, tenemos la relación de resistencias o impedancias, y sale 48. Para saber la relación de espiras habría que sacar la raíz cuadrada de 48 y el número más aproximado es 7, porque $7 \times 7 = 49$. Tomémoslo como bueno, y deberemos hacer un transformador con siete veces más espiras en el primario que en el secundario. Y observemos que hemos llamado primario al bobinado que va conectado al colector y secundario al bobinado que va a la bobina móvil del parlante. Pero también podemos comprar el transformador que tenga esa relación y nos ahorraremos el trabajo. En la práctica el transformador se compra, pero es interesante saber cómo se hace para calcular su relación y para qué se coloca.

Ahora tenemos ya explicado el circuito de la figura 64 con todos sus elementos y podemos entonces pasar a la otra clase de amplificación, la que, por otra parte, es la más usada, tal como lo veremos en los circuitos prácticos. Pero era necesario explicar primero el sistema más sencillo de amplificación de potencia para pasar después al otro. Los valores de la tensión y de la corriente en el circuito de colector, multiplicados entre sí nos dan una cifra de potencia, generalmente medida en miliwatt (mW), que es la potencia que se transfiere, mediante el transformador T al parlante.

Amplificación de potencia en clase B

Siempre que hablamos de amplificación de potencia nos referimos a que necesitamos volcar sobre un parlante, precisamente en su bobina móvil, una cierta potencia eléctrica para hacerlo funcionar. Veamos la figura 66, que nos muestra dos senoides, una podría representar la señal de entrada a un amplificador y la otra la señal de salida. El diferente tamaño quiere dar idea de la amplificación obtenida, pero resalta el hecho de que sean de igual forma y ambas completas, es decir con sus dos semiciclos. Esto sería en el caso de la amplificación clase A.





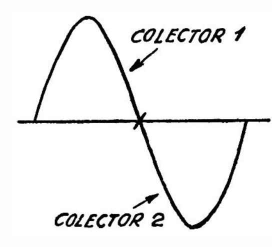


FIG. 67. — En la amplificación clase B se aumentan separadamente las dos mitades de la senoide.

Vamos ahora a la figura 67. Tomemos la primer senoide completa; ella representa la señal de entrada que debe ser amplificada. Por algún

procedimiento que será descripto oportunamente, tomamos separadamente los dos semiciclos de la señal de entrada y los llevamos separadamente a dos transistores, a sus entradas por base; las dos mitades las designamos señal en base 1 y señal en base 2. En los circuitos de colector de esos dos transistores tendremos amplificados los dos medios ciclos, cada uno en su transistor, pero si hacemos pasar las dos corrientes de esos dos colectores por las dos mitades de un bobinado primario único de un transformador, tal como lo muestra la figura 68, tendremos reproducido el ciclo entero en el parlante.

Veamos esto con más detalles. El transformador T_1 recibe en su primario la señal entera, tal como sería la primer senoide de la figura 67. El secundario aplica sus dos mitades, una a cada base de los transistores superior e inferior. Obsérvese la flecha de puntos; cuando en la base de arriba la corriente es entrante a ella, en la base de abajo es saliente, tal como ocurre con la señal partida en el centro de la figura 67. Luego, cuando la corriente del colector de arriba aumenta la del de abajo disminuye, y estamos en el tercer gráfico de la figura 67. En el primario del transformador T_2 tenemos las dos mitades de la senoide, que se hacen coincidir de tal modo que se forma la senoide completa, y en el secundario resulta aplicada a la bobina móvil del parlante la señal senoidal completa, con la potencia debida.

Los demás elementos que aparecen en el esquema de la figura 68 son las resistencias de polarización, que nos son conocidas, y cuyos valores se darán para los circuitos prácticos. Evidentemente, si queremos que la senoide final sea simétrica, es decir que tenga sus dos mitades iguales, los dos transistores deben ser rigurosamente iguales, para que amplifiquen en el mismo grado las dos mitades de la senoide.

Pero ahora viene la pregunta lógica: ¿Para qué nos complicamos la vida con este montaje de amplificación en clase B? Para comprenderlo vamos a la figura 69, que nos muestra las curvas características de colector de los transistores empleados en el circuito. El punto de trabajo se elige muy bajo, y así tendremos una corriente de reposo, sin señal, muy reducida. En la figura 69 esa corriente sería de 20 mA, pero en la práctica se tienen valores mucho menores. A máxima señal la corriente de colector sube a valores mucho más grandes, pudiendo llegar hasta el máximo; en la figura ese valor sería 120 mA. Y esto se puede hacer porque cada transistor entrega media senoide, luego los valores evolucionan hacia un solo lado del punto de trabajo. Las curvas de la figura 69 dan solamente la media senoide de arriba por ejemplo, y otras curvas iguales, correspondientes al otro transistor, dan la media senoide de abajo. En cambio, en la figura 65 teníamos que tener la senoide completa, y por eso el eje de tal senoide debía estar en el centro de las curvas, pasando por el punto de trabajo central. En la figura 69 el punto de trabajo está en la parte inferior del gráfico.

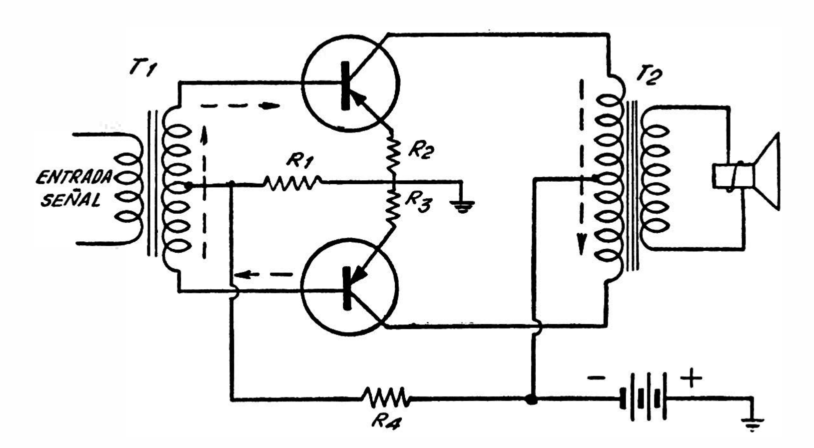


Fig. 68. — Esquema de un amplificador de potencia en clase B.

Esto, dicho un poco así, a la ligera, no aparece muy claro, pero si observamos la figura 70 lo entenderemos mejor. El gráfico simple superior corresponde a la clase A, y vemos que la corriente de colector debe excursionar hacia arriba y hacia abajo del *eje de trabajo*, para poder darnos la senoide completa. Sin señal, la corriente toma el valor que corresponde precisamente a ese eje, y esa corriente marca el consumo sobre las pilas.

Veamos ahora el gráfico doble inferior. La parte de arriba corresponde a un transistor y la de abajo al otro, de la figura 68. Cada uno tiene su eje de trabajo muy cerca del final del gráfico, y la corriente de colector de cada transistor excursiona hacia un solo lado del eje de trabajo, pues debe tenerse media senoide en cada uno.

Sin señal, la corriente de colector tiene un valor muy bajo, y eso marca el consumo sobre las pilas. Para completar la senoide superponemos los dos gráficos hasta hacer coincidir el eje de trabajo y los dos puntos de trabajo, el de arriba y el de abajo, y comprobamos que se tiene, en trazo grueso la senoide completa.

La ventaja del montaje en clase B, en primer lugar, aparece muy claro: se logra una considerable reducción del consumo de corriente de reposo. Y como la señal no tiene siempre su máxima amplitud, sino que fluctúa constantemente, el consumo sobre las pilas resultará mucho menor que en la clase A. Además, con el agregado de un transistor, ya que necesitamos dos, tenemos mucha mayor potencia, no el doble que en clase A sino mucho más. La razón es que, como la corriente de reposo es muy pequeña, se puede hacer trabajar a los transistores a un régimen mayor.

Otro detalle está en la resistencia de carga. Para calcularla con ayuda del gráfico procedemos como antes. Dividimos el valor sobre el eje horizontal, tomado en Volt, por el valor en el eje vertical, tomado en Amper. En nuestro caso se tenía que la tensión máxima era de 15 Volt, y la corriente máxima era de 120 mA, o sea 0,12 Amper. Dividiendo da 125 Ohm. Pero esta cifra corresponde a un solo transistor, y tenemos dos, de manera que el transformador tendrá dos ramas iguales en el primario, cada una de las cuales debe dar ese valor de adaptación de impedancias. El doble del bobinado, o sea todo completo no da el doble de impedancia, porque debemos recordar que había que elevar al cuadrado la relación de espiras. Tenemos que el cuadrado de dos es cuatro, y entonces lo que se llama la impedancia de carga de colector a colector será cuatro veces la que corresponde a un solo colector. Al margen de la figura 69 se ha hecho esta operación y llegamos a que el transformador del parlante debe darnos sobre el primario una impedancia de 500 Ohm. Y aquí aparece otra ventaja, porque a una corriente dada, la mayor impedancia significa mayor potencia; teóricamente una impedancia cuádruple que para clase A debería darnos cuádruple potencia, pero en la práctica no se alcanza tal cifra sino algo menos.

En resumen, que con la amplificación clase B se alcanzan mayores potencias de salida que con la clase A y menores consumos medios sobre las pilas. No hace falta decir que la mayoría de los circuitos prácticos de amplificadores a transistor se construyen en clase B. Volviendo al esquema de la figura 68, las misiones de las resistencias son similares a las de la figura 64, ya explicada; los valores serán dados para los circuitos prácticos, más adelante.

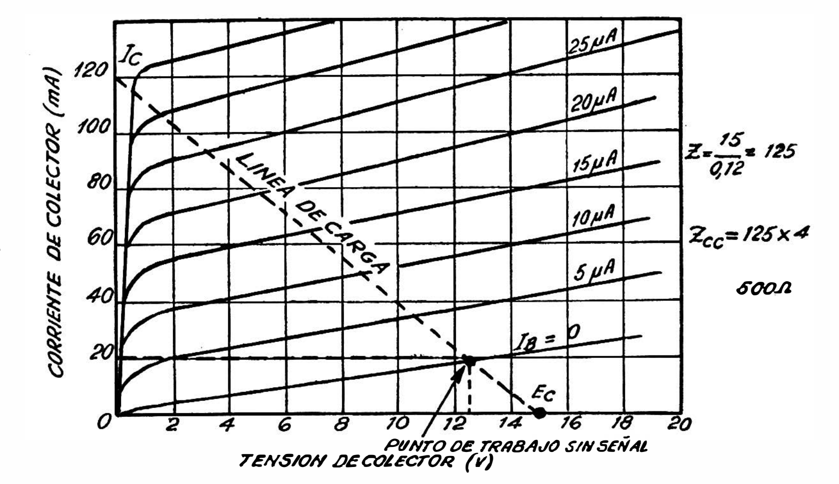


Fig. 69. — Condiciones de trabajo de un transistor en clase B.

Inversión de fase

Tal vez podría objetarse a la amplificación clase B por el hecho de que necesita un partidor de la senoide de entrada, pues la necesitamos en dos mitades de polaridad contraria. Dicho de otra manera, necesitamos dos mitades de fase invertida u opuesta. Por eso, al procedimiento para lograrlo se lo llama *inversión de fase*, y en la práctica no constituye un problema importante.

Volvamos a la figura 68 para ver cómo se aplica la señal de entrada a las bases de los dos transistores amplificadores de potencia. Con respecto al punto central, la señal alterna en el secundario tiene dos mitades iguales, pero mientras la mitad superior va del centro hacia afuera, la mitad inferior va de afuera hacia el centro;

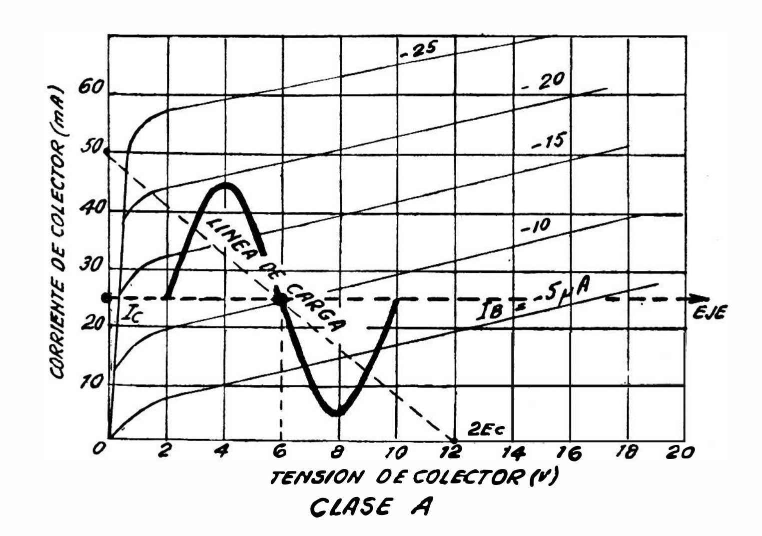


FIG. 70. — Gráfico completo de la amplificación clase B con dos transistores.

TENSION DE COLECTOR (V)

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

CORRIENTE DE COLECTOR (mA)

0 20 40 60 80 100 120

I_C

25 μA
20 μA
15 μA
10 μA
5 μA

LINEA DE CARGA

PUNTO DE TRABAJO
$I_B = 0$

EJE

Ec

0 20 40 60 80 100 120

CORRIENTE DE COLECTOR (mA)

Ec

PUNTO DE TRABAJO

EJE

$I_B = 0$
5 μA
10 μA
15 μA
20 μA
25 μA

LINEA DE CARGA

I_C

20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0

TENSION DE COLECTOR (V)

CLASE B

dicho de otra manera, cuando una es positiva la otra es negativa, o también, sus fases son opuestas. Y así tienen que ser las dos señales de entrada a una etapa amplificadora de potencia del tipo *simétrica*, como es la amplificación clase B de la figura 68.

No es indispensable el uso de un transformador para lograr convertir una señal alterna en dos que tengan sus fases opuestas. La figura 71 nos muestra cómo puede lograrse lo mismo mediante un transistor. Sabemos, por haberlo explicado cuando hablamos de la propiedad amplificadora, que en el amplificador con emisor a masa entre las señales de emisor y colector hay una diferencia de fase de medio ciclo, o sea que las señales de esos electrodos están en fase opuesta. Luego, colocando resistores iguales en emisor y colector tendríamos tensiones prácticamente iguales; y no son exactamente iguales porque la ganancia de corriente de emisor a colector es la cifra ya conocida por nosotros, *Alfa*, que vale casi uno.

En la figura 71 los resistores R_3 y R_4 son iguales, y para el transistor CK721 valen 10.000 Ohm; R_1 vale 50.000 y R_2 vale 100.000. Los capacitores de entrada y de salida tienen valores altos, comprendidos entre 2 y 10 microfarad. Las tensiones marcadas como e_1 y e_2 son las que se aplican a las bases de los dos transistores amplificadores de potencia.

Distorsión armónica

Al hablar de amplificación hemos dicho que la señal aplicada tenía una forma de onda senoidal, y la hemos dibujado siempre así, tal como se puede ver en las figuras 66, 67 y otras. En la práctica sólo tienen señales de forma senoidal perfecta los tonos puros del sonido, que son raros. La forma de onda es una curva que se diferencia tanto más de la senoide perfecta, cuanto más armónicas tenga. Lo importante es que esa forma de onda que tiene la señal debe ser respetada rigurosamente, porque al llegar al parlante, las vibraciones del aire tendrán correspondencia con tal forma de onda. Si la señal que llega al parlante después de haber sido amplificada tiene idéntica forma de onda que la del micrófono, el sonido que produce el parlante será idéntico al que fue emitido delante del micrófono.

Los amplificadores se hacen con válvulas o con transistores, y las curvas características de ambos elementos no son líneas rectas. Un vistazo a las figuras 65 y 69, además de las otras curvas vistas en el capítulo anterior, nos dirá que esas curvas tienen tramos bastante rectos, pero no absolutamente rectos. Luego, las formas de onda de la señal después de la amplificación no serán exactamente iguales a las de la señal de entrada. La diferencia entre esas formas de onda de salida y de entrada es lo que se llama *distorsión armónica*, y se da en %. Cuando consultamos un manual de características de transistores para buscar datos para hacer un amplificador de potencia, veremos que una de las cifras que se da es el % de distorsión. Las cifras

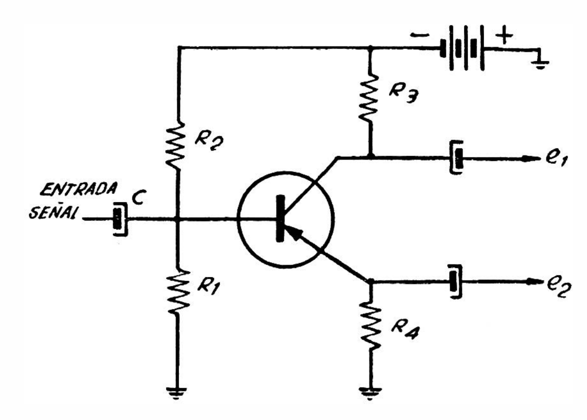


FIG. 71. — Esquema de la inversión de fase lograda con un transistor.

usuales para clase B son entre el 5 % y el 10 %. Hay que tratar siempre que la distorsión sea lo más pequeña posible, porque la música reproducida por nuestro amplificador se diferenciará de la original tanto como sea elevada la cifra de distorsión. Un 5 % de distorsión no puede ser prácticamente percibida, pero cifras mayores comienzan a ser notadas.

Otros montajes de amplificadores

La disposición de dos transistores en clase B para un amplificador de potencia, permite otros tipos de montajes que gozan de algunas propiedades. Tales son el amplificador *simplemente terminado* (single ended), es decir sin transformador de salida, y el amplificador de *simetría complementaria*. Veamos los dos circuitos, a título ilustrativo.

El montaje *single ended* puede verse en la figura 72. Lleva un transformador T de entrada a la etapa simétrica y tres juegos de resistencias iguales. Las resistencias de los emisores R_1 y R_2 no siempre son iguales, pues debe compensar pequeñas diferencias entre las corrientes de las ramas. Los divisores de tensión formados por las resistencias R_3 y R_4 para uno y R_5 y R_6 para el otro transistor, se dimensionan de tal manera que sin señal los transistores no conduzcan corriente.

Al aparecer una señal en el transformador, la

misma será, en medio ciclo, positiva para el transistor de arriba y negativa para el de abajo, como corresponde a una inversión de fase. El excedente de tensión positiva rompe el estado de no conducción en el transistor superior, y ése conduce corriente, mientras que el de abajo sigue sin conducir. En el otro medio ciclo, es el transistor de abajo el que tiene señal positiva y en él se rompe el estado de no conducción, dejando pasar corriente. Luego, por la bobina móvil del parlante circulará corriente durante los dos medios ciclos, pero en cada medio esa corriente proviene de distinto transistor. Tenemos reproducido el fenómeno explicado en la figura 67, pero sin transformador de salida. Lo único que se requiere es que la bobina móvil del parlante tenga la impedancia requerida como carga de los transistores en montaje clase B. Actualmente se construyen parlantes con bobina móvil de alta resistencia, adecuada para este montaje. Hay parlantes de hasta 800 Ohm.

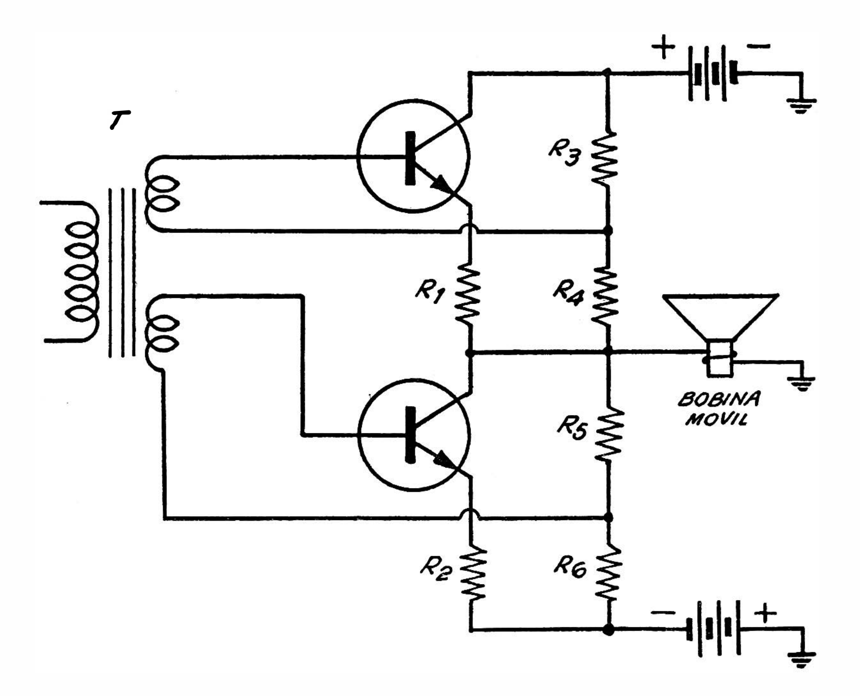


Fig. 72. — Esquema de un amplificador de potencia que no emplea transformador de salida (*single ended*).

Veamos ahora el otro montaje, el de *simetría complementaria*, cuyo circuito se da en la figura 73. La novedad es que se emplean dos transistores de igual corriente de colector, pero uno es tipo PNP y el otro NPN. Debido a la diferente polaridad entre esos tipos de transistores, la señal de entrada no necesita inversión de fase, pues cuando una base debe ser negativa, por ejemplo en el PNP, en el NPN debe ser positiva. Los sentidos de corriente que marcan las flechas en el esquema corresponden a un semiciclo de la señal de entrada, y serían inversas para el otro semiciclo. Por razones similares al montaje *single ended*, puede prescindirse aquí del transformador de salida, y la bobina móvil del parlante debe tener alta impedancia.

En ambos tipos especiales de amplificadores de terminación sin transformador, se requieren dos baterías iguales para alimentarlo, pero el consumo sobre cada batería es la mitad que si hubiera una sola; esto equivale a decir que la

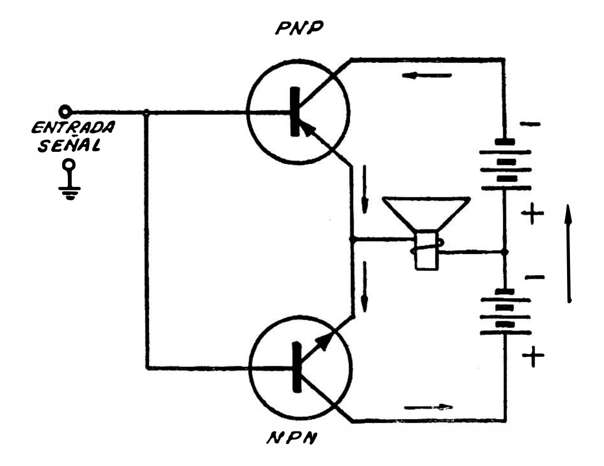


Fig. 73. — Esquema de un amplificador de simetría complementaria.

duración de las dos baterías será el doble que la de una sola, en los amplificadores de tipo común en clase B, explicados anteriormente.

Día 7

El transistor es un excelente dispositivo de amplificación, según hemos visto, pero no siempre debe pensarse que un amplificador termina en un parlante, ni siquiera se trata en todos los casos de amplificar audiofrecuencia, o sea baja frecuencia. Superadas las dificultades constructivas debidas al tiempo de tránsito de los electrones por la masa del transistor, la frecuencia límite de trabajo fue elevada más y más, y hoy día ya los transistores son excelentes amplificadores de alta frecuencia, o sea de radiofrecuencia. Debido a ello se han podido construir receptores con transistores, y esos receptores cubren las bandas de recepción de ondas cortas sin ninguna dificultad.

Si nos resultó interesante el estudio del transistor como amplificador de baja frecuencia, podremos comprobar ahora que cuando amplifica alta frecuencia también cumple una misión de mucho interés, y se presentan particularidades que lo diferencian de la válvula termoiónica en esa misma función. Siguiendo nuestro método de no hacer estudios comparativos con las válvulas, excepto en los casos en que debe obligadamente hacerse la mención, veamos cómo trabajan los amplificadores de alta frecuencia con transistores.

AMPLIFICACION DE ALTA FRECUENCIA

Algunas consideraciones iniciales

Las señales de alta frecuencia que se manejan en Radio, en la mayoría de los casos, son débiles, de amplitud reducida, mucho menores que las más bajas señales de audiofrecuencia, que tenemos provenientes de micrófonos y fonocaptores. En efecto, las señales de audiofrecuencia que obtenemos en estos casos son del orden de tensiones de décimas o centésimas de Volt; en algunos casos son menores, y se habla de señales de algunos milivolt, pero nunca menos. En radiofrecuencia, las señales las captamos del espacio mediante una antena, grande y aérea o pequeña y contenida en el receptor, y esas señales se miden en microvolt, o sea en millonésimos de Volt. Se ve enseguida que necesitaremos amplificarlas muchos más que las de audio.

Otra particularidad que diferencia a las señales de audio y de radiofrecuencia es que las primeras, por provenir de elementos acústicos, son de frecuencias variables, y nos interesa amplificarlas conservando todas sus frecuencias. En las señales que captamos con una antena tenemos también muchas frecuencias, pero nos interesa elegir una sola de ellas, que tiene una frecuencia determinada, y nos interesa eliminar todas las otras. Es decir que, además de amplificar la amplitud de la señal, debemos seleccionar una de las frecuencias y tratar de eliminar las otras. Claro, cada señal de alta frecuencia captada por la antena corresponde a una estación emisora, y no podemos escuchar varias emisoras a la vez, sino que debemos elegir una, y tratar que sea amplificada solamente la señal que corresponde a ella, dejando sin amplificar o eliminando las señales correspondientes a otras emisoras; en otro momento, elegimos otra emisora y procedemos con ella de igual modo, eliminando la que habíamos elegido antes y las demás, excepto la nueva elegida. Esta operación se llama en la práctica: *sintonizar*, como es bien sabido.

Las consideraciones precedentes nos demuestran la gran diferencia que habrá entre los amplificadores de baja y de alta frecuencia, no tanto por la diferencia de frecuencias, sino por la modalidad y circunstancias que rodean al tipo de señales en cuestión. El sonido que obtendremos de una señal de alta frecuencia proveniente de una emisora no tiene nada que ver con la frecuencia de la señal captada, sino que, según se estudia en Radio, ese sonido viene impreso en forma de modulación sobre la señal, sin afectar a su frecuencia, o si la afecta (caso de modulación en frecuencia) lo hace de tal manera

que no se altera la frecuencia central promedio.

Y bien, ahora debemos estudiar la amplificación de alta frecuencia, que en la práctica tiene dos casos diferentes si nos referimos a los receptores comunes de radio. Hay radiofrecuencia y hay frecuencia intermedia. Ambas son altas frecuencias, pero la segunda denominación se usa para un valor especial, que es fijo, y que en nuestro medio es de 465 Kilociclos por segundo. Pero ya podemos pasar al tema principal.

El circuito resonante

No podemos estudiar toda la teoría de la Radio en este introito, de modo que suponemos que el lector conoce las particularidades que presentan los capacitores y las bobinas o inductancias cuando varía la frecuencia de la corriente

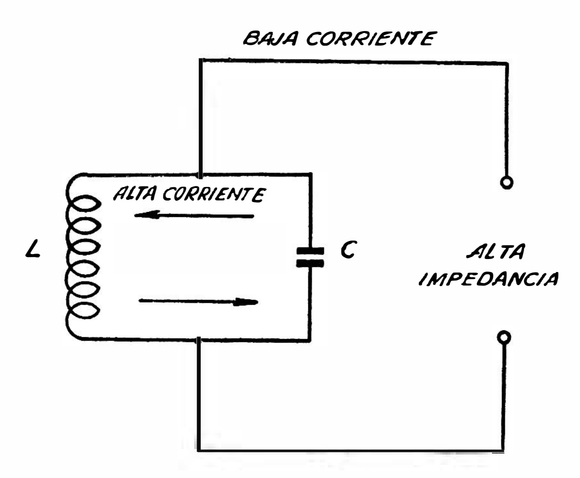


Fig. 74. — Esquema sintético de un circuito resonante.

que se les aplica. La impedancia de una bobina aumenta al crecer la frecuencia, mientras que la del capacitor disminuye. Si conectamos juntos una bobina y un capacitor, como lo muestra la figura 74, tenemos que la impedancia aumenta hasta un cierto valor y luego vuelve a disminuir, todo ello mientras seguimos aumentando la frecuencia de la señal que aplicamos al conjunto. Ese valor máximo de la impedancia se produce para un caso muy particular, que es cuando el conjunto está en *resonancia.*

Para un valor dado de la capacidad del capacitor y de la inductancia del bobinado, el conjunto de la figura 74 resuena para un cierto valor de la frecuencia, y en ese caso la impedancia es máxima y por consiguiente la corriente que sale al exterior del circuito es de valor mínimo; en cambio, dentro del circuito la corriente es mucho mayor, pero circula de capacitor a bobina y viceversa. Si cambiamos el valor de la inductancia L de la bobina o la capacidad C del capacitor, otro será el valor de la frecuencia de resonancia, y se obtendrá solamente impedancia máxima para la señal que tenga esa frecuencia especial. Esto es lo que se hace cuando se sintoniza una señal en una receptor; se varía la capacidad del capacitor variable, para hacer entrar al conjunto en resonancia con la señal de la estación que se quiere escuchar. Luego, hay que aplicar el conjunto resonante a un circuito que aproveche la condición de impedancia elevada, para que sea amplificada solamente la señal elegida y no las otras.

Con las válvulas electrónicas el problema se soluciona aplicando el conjunto resonante a la grilla, que tiene entrada de alta impedancia, pero no podemos hacer lo mismo con los transistores, porque la entrada, sea por base o por emisor, es de baja impedancia. Luego, encontramos que la técnica seguida para amplificar alta frecuencia con válvulas no puede ser aplicada a los transistores, y esto representa un problema para los lectores que saben lo suficiente de Radio y se encuentran que al querer estudiar el comportamiento de los transistores aparece una diferencia que les resulta complicada. Pero no hay que magnificar el problema; si bien la técnica circuital es diferente, no quiere decir ello que no se pueda estudiar, entender y aplicar, y eso es lo que haremos.

El transistor en R.F.

Volvamos a la figura 74; no podemos aplicar los bornes de salida, donde dice que hay alta impedancia a la entrada por emisor o por base de un transistor, porque sabemos que allí debemos aplicar elementos de baja impedancia, si queremos que el transistor amplifique correctamente y con buen rendimiento. Pero observemos de paso que en el interior del circuito resonante hay una leyenda que dice: *alta corriente,* lo cual quiere decir también: *baja impedancia,* porque, al igual que en los circuitos que usan solamente resistencia, decir baja resistencia equivale, en cierto modo, a decir alta corriente, y viceversa.

¿Dónde podremos aplicar el transistor para disponer de baja impedancia de entrada? Pues en serie con alguno de los componentes del circuito sintonizado. Eso es lo que vemos en la figura 75. El transistor aparece en serie con el capacitor C y a la vez estamos conectándolo como amplificador con base a masa y entrada por emisor. Obsérvese que en la figura no aparecen las pilas para la polarización, porque ese detalle no nos interesa por el momento. La figura nos muestra otra cosa más: el total del circuito resonante aparece conectado entre colector y masa del primer transistor, pero como sabemos que

el colector de un transistor presenta alta impedancia, y entre extremos del circuito resonante hay alta impedancia (ver Fig. 74) las cosas quedan bien así. Ya tenemos una primera manera de amplificar alta frecuencia con un transistor, respetando las condiciones de baja impedancia a la entrada y alta impedancia a la salida.

Hay otra manera, ya que el circuito resonante tiene dos elementos. Podemos conectar al transistor en serie con la bobina, tal como lo muestra la figura 76. Las condiciones son las mismas que para la figura 75. El conjunto LC, que tiene alta impedancia entre extremos, aparece entre colector y masa del primer transistor, y se cumple lo de conectar elementos de alta impedancia en colector. El segundo transistor aparece conectado en serie dentro del circuito resonante, donde hay baja impedancia, y también vemos que se logra un montaje amplificador con base a masa y entrada por emisor, todo lo cual es correcto.

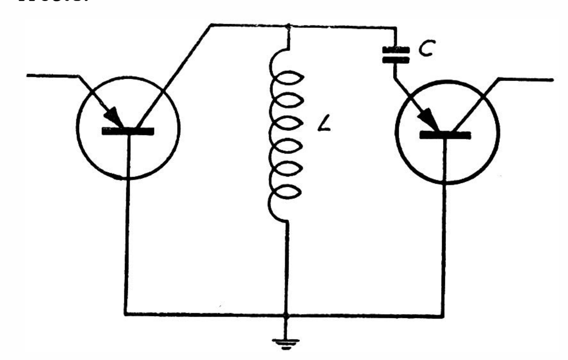


Fig. 75. — Aplicación del transistor en la rama capacitiva.

Claro que las cosas no son tan simples como se ven en las figuras 75 y 76. Hay que cuidar algunos detalles importantes para lograr que el transistor amplificando lo haga en buenas condiciones. En primer lugar, la impedancia de los elementos que componen el circuito sintonizado debe concordar con la que requiere el transistor a la entrada y a la salida. En segundo lugar, todo transistor tiene una frecuencia límite o crítica, que no debe ser sobrepasada, pues se reduce de inmediato la ganancia, como lo vimos en el capítulo 5. Con el circuito sintonizado que tenemos podemos seleccionar señales de distintas frecuencias, si variamos L o C. Pero la frecuencia más alta a seleccionar debe ser inferior a la frecuencia límite del transistor que se elija como amplificador.

Estos dos son los problemas más importantes, y casi siempre son resueltos por los diseñadores de circuitos, que son los fabricantes de transistores y juegos de bobinas para receptores. Por ello,

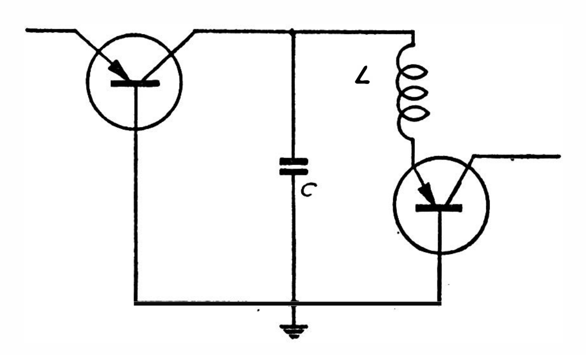


Fig. 76. — El transistor en la rama inductiva.

el problema no lo tendrá casi nunca el lector, pero debe conocerlo, pues si quiere cambiar un transistor por otro, por ejemplo, debe verificar las condiciones arriba señaladas para saber si tal reemplazo es posible o no.

El montaje con emisor a masa

Los dos ejemplos propuestos en las figuras 75 y 76 para amplificar alta frecuencia (R. F.) con un transistor no son los preferidos en la práctica, por tratarse de un montaje con base a masa, que sabemos no es el que suministra mayor amplificación. Por lo que estudiamos en el capítulo 4 y también en el 5, el montaje más conveniente es el de emisor a masa. Veamos cómo se conecta un transistor en esas condiciones.

En primer lugar, la entrada por emisor es también de baja impedancia, y la salida por colector es de alta impedancia; luego tendremos que una etapa amplificadora deberá presentar alta impedancia hacia atrás y baja impedancia hacia adelante, en la entrada del transistor siguiente. Una forma de adaptar la impedancia es tomar sólo una parte del capacitor o de la bobina. Por ejemplo, la figura 77 nos muestra que colocando en lugar de un capacitor único en el circuito resonante, dos en serie, C_1 y C_2, de valores tales que en conjunto tengan la capacidad necesaria para la resonancia con la bobina

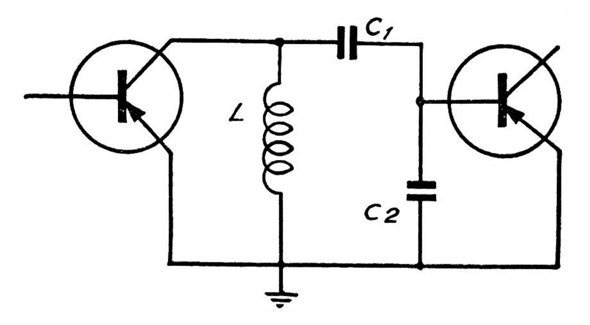


Fig. 77. — El transistor derivado sobre un capacitor de baja impedancia.

L, el conjunto sintonizado se comporta debidamente. Para los efectos de la impedancia, sabemos que la de un capacitor es tanto menor cuanto mayor es la capacidad, luego, como necesitamos baja impedancia para la base del segundo transistor, C_2 debe tener una capacidad muchas veces mayor que C_1. Si se quiere tener en base la décima parte de la impedancia del circuito completo de bobina y capacitores, C_2 debe tener cerca de 10 veces más capacidad que C_1; atención, no es exactamente 10 veces, ya que hay que referir la capacidad de un capacitor, no a la del otro sino al valor combinado de los dos que están en serie entre si, y la capacidad de dos capacitores en serie se calcula dividiendo el producto de las dos capacidades por la suma de las mismas, como lo saben los que estudiaron Electricidad o Radio.

Pasemos a otra solución, que vemos en la figura 78. Se trata de colocar un segundo bobinado de muy pocas espiras sobre o arrimado al otro, que es la bobina L. Luego, el circuito resonante está formado, como antes, por la bobina L y el capacitor C; el conjunto presenta alta impedancia entre sus extremos, y podemos conectarlo al circuito de colector del primer transistor. La otra bobina, que llamaremos *secundario*, tiene baja impedancia por tener pocas espiras, muchas menos que L, y por ello podemos conectarla al circuito de entrada por base del segundo transistor. Se consigue así un acoplamiento entre transistores que presenta alta impedancia sobre el primario (circuito de colector) y baja impedancia sobre el secundario (circuito

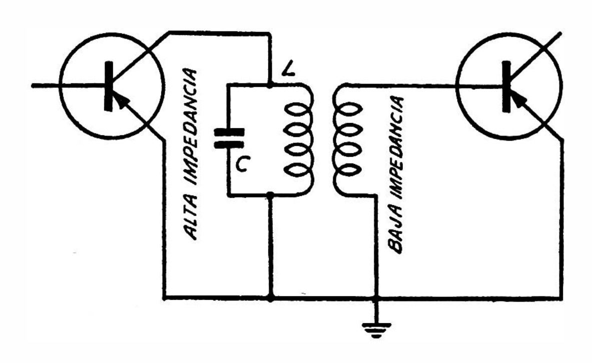


FIG. 78. — El transistor conectado a un bobinado de baja impedancia.

de base) ; así las cosas, todo está correcto y la etapa amplificadora funciona impecablemente. La relación de espiras entre los dos bobinados no puede ser cualquiera, sino que se calculará en la misma forma que lo hacíamos para el transformador de salida en los amplificadores de potencia, capítulo 6; debemos, en consecuencia, conocer las impedancias necesarias en el primario y el secundario.

Un inconveniente que se presenta con el acoplamiento propuesto en la figura 78 es que la baja resistencia del circuito de base se transfiere al circuito de colector del primer transistor, si bien interviene la relación de espiras en los

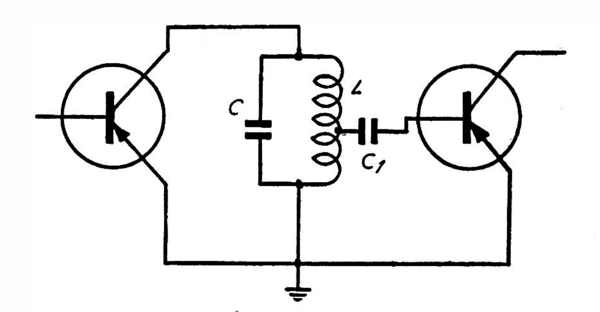


FIG. 79. — El transistor derivado sobre una fracción de la bobina.

cálculos respectivos. Para evitar ese efecto, se puede usar el acoplamiento que vemos en la figura 79, y que tiene similitud con el de la figura 77. Aquí tomamos para la conexión de base del segundo transistor una parte de la bobina L, mediante una derivación en el bobinado. El segundo capacitor C_1 debe colocarse para evitar que la alta polarización continua del colector del primer transistor se aplique a la base del segundo. Esta polarización proviene de las pilas que no aparecen en el esquema, pero que sabemos que deben estar. La proporción entre las espiras que hay en la sección inferior de la bobina y el total de la misma dan una relación de espiras que, en la misma forma como pasaba con los transformadores en el capítulo 6, debe elevarse al cuadrado para dar la relación de impedancias. Por ejemplo, si se toma para la derivación la décima parte de espiras, la relación de impedancias será de una centésima parte; luego, la impedancia cargada sobre el colector del primer transistor será 100 veces mayor que la que carga sobre la base del segundo transistor. El circuito sintonizado está formado como siempre por la bobina L completa y por el capacitor C, de modo que sus valores estarán de acuerdo con la frecuencia de la señal. El capacitor C_1 tiene una misión simple de acoplamiento para la señal e impide el paso de la continua; luego su valor es convencional, 0,1 microfarad.

Veamos finalmente otro caso, en el cual se usa un acoplamiento que se llama *a doble sintonía.* Se muestra en la figura 80, y vemos que hay dos circuitos sintonizados o resonantes iguales, uno primario y otro secundario. Lógicamente, ambos resuenan a la misma frecuencia. La carac-

terística de impedancia de un circuito resonante es presentar alto valor entre extremos, de modo que el primario puede conectarse directamente al circuito de colector del primer transistor; en cambio, el secundario no puede conectarse directamente a la entrada de base del segundo transistor, por requerirse allí baja impedancia.

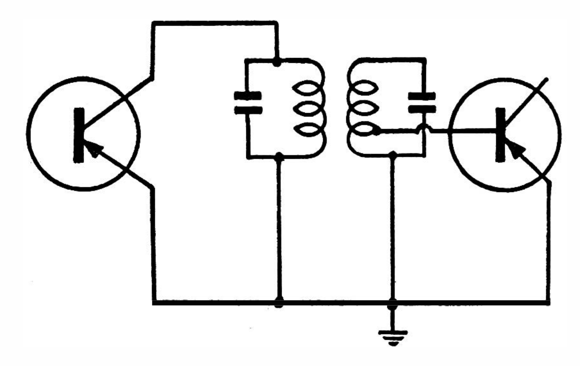


Fig. 80. — El transistor se conecta sobre una parte del bobinado del circuito sintonizado.

Utilizando el recurso de la figura 79, tomamos una derivación en la bobina secundaria a pocas espiras desde el extremo inferior de la misma, tal como se ve en la figura 80. Con ello tenemos conectada la base a un circuito de baja impedancia, sin impedir que el total del bobinado secundario, en combinación con el capacitor secundario, formen un circuito resonante de alta impedancia.

Tipos de amplificadores

Según lo hemos dicho al principio de este capítulo, hay dos tipos fundamentales de amplificadores de alta frecuencia, los llamados de *R. F.* y los de frecuencia intermedia o *F. I.* Los primeros deben tener circuitos resonantes capaces de ser variados para poder sintonizar diversas señales comprendidas entre dos límites. Por ejemplo, la llamada banda de ondas largas está comprendida entre 500 y 1.500 Kilociclos por segundo, y abarca todas las estaciones emisoras locales. Para las bandas de ondas cortas se cambia de bobina en los circuitos sintonizados y puede hacerse sintonía entre otros límites diferentes; en todos los casos se usa un capacitor variable, para alterar la frecuencia de resonancia de los circuitos sintonizados.

Luego, la característica destacada de los amplificadores de R. F. (radiofrecuencia) es que tienen posibilidad de variar la sintonía mediante capacitores variables. Si hay más de un circuito sintonizado, el capacitor variable debe tener más de una sección, a efectos de que la variación de capacidad ocurra en todos al mismo tiempo y en la misma proporción; son los capacitores en tandem, o simplemente *tandem*.

Los otros amplificadores de alta frecuencia, los de frecuencia intermedia o F. I., son de frecuencia fija, pues sus circuitos sintonizados se ajustan una vez y luego quedan siempre en la misma frecuencia. Suelen tener dos circuitos sintonizados, o sea que son del tipo ilustrado en la figura 80. La razón de usar tal tipo de amplificadores será estudiada en el capítulo de receptores, pero para los lectores que saben Radio no será una novedad. En resumen, que son amplificadores de frecuencia alta, pero fija.

Amplificadores de R.F.

Con lo antedicho podemos estudiar un circuito amplificador de R. F. a transistor. Sea el

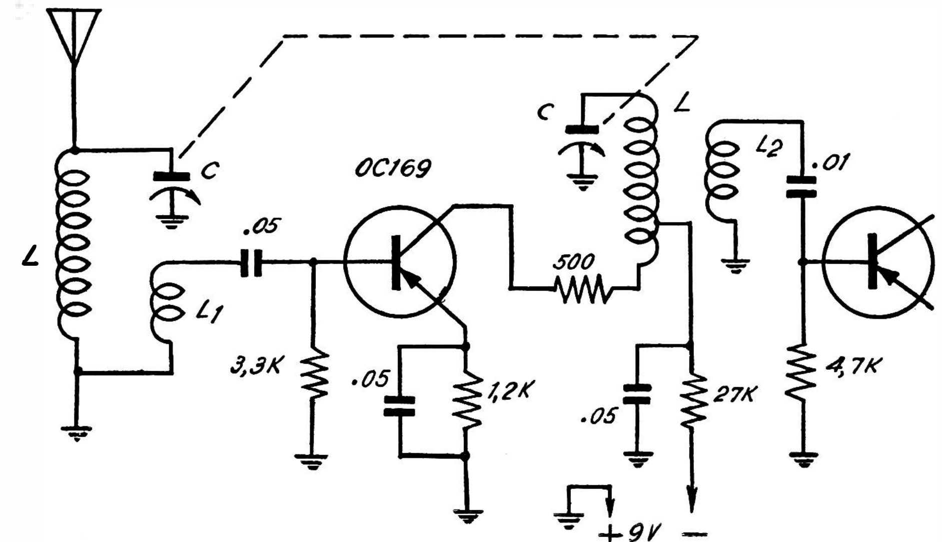


Fig. 81. — Esquema de un amplificador de R. F. a transistor.

que vemos en la figura 81, que forma parte de un receptor completo, pero que dejamos por ahora sin completar. Veamos sus características.

En primer lugar, debemos tener circuitos sintonizados, de sintonía variable; son los conjuntos L y C, de los que hay dos. Los dos capacitores variables C deben estar en tandem, por las razones ya explicadas (eso se indica con la línea de trazos que los une). Los circuitos sintonizados son de alta impedancia, luego pueden acoplarse a la antena y al colector, pero no a las entradas de base de los transistores. En este caso vemos que se adoptó la solución de la figura 78 para los acoplamientos a base de los circuitos sintonizados, mediante los secundarios L_1 y L_2, que tendrán pocas espiras para lograr baja impedancia. Los capacitores que quedan en serie con esos secundarios hasta las bases de los transistores son, según ya sabemos, para evitar poner a masa las bases, ya que esos bobinados de pocas espiras tienen muy baja resistencia a la corriente continua, demasiado baja. El emisor del transistor OC169 se polariza de la manera como estudiamos en la figura 50, con un resistor de 1,2 Kilohm, pero para la señal se coloca un capacitor de paso directo. El colector se polariza a través de una resistencia alta, 27 Kilohm, pero la señal tiene un paso directo por el capacitor de 0,05 microfarad. Obsérvese que en este circuito la alimentación del colector se hace por una derivación del bobinado primario.

El segundo transistor que aparece podría ser otro amplificador de R. F., pero aclaramos que ello es poco corriente. En los receptores comunes, después del amplificador de R. F. viene el conversor, cuya función será estudiada más adelante.

El circuito descripto pertenece a uno de los tantos receptores que se construyen actualmente, y no es el único, por supuesto. Se ha mostrado uno con sus valores reales, para ir acostumbrando al lector a las cifras usuales en los circuitos. En los capítulos de circuitos completos volveremos sobre todo esto.

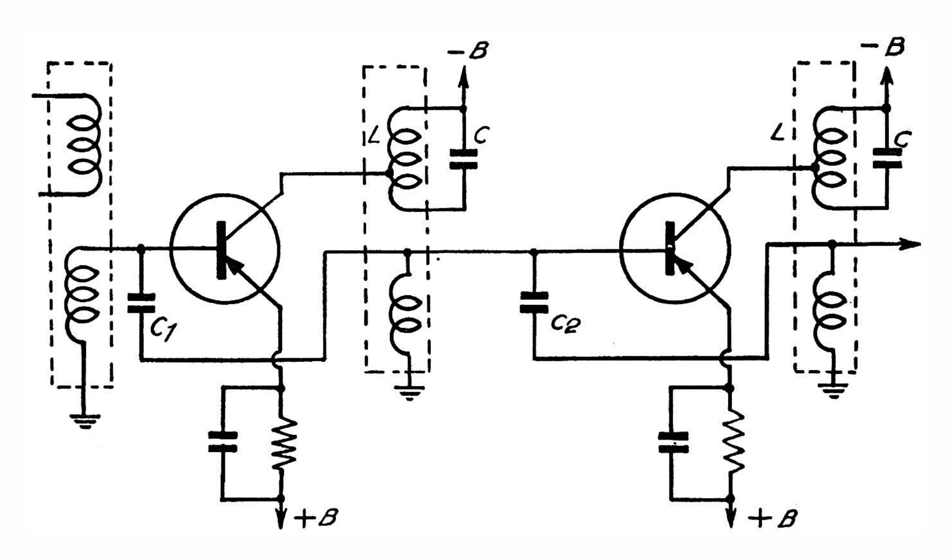


FIG. 82. — Esquema de un amplificador de F. I. a transistor.

Amplificación de F.I.

Veamos ahora los amplificadores de frecuencia fija. La figura 82 nos muestra uno de ellos que tiene dos etapas, y vemos de inmediato los circuitos sintonizados LC, cuyos capacitores C son ajustables, pero no variables del tipo que usa el amplificador de la figura 81. En estos amplificadores, la impedancia de los circuitos sintonizados es muy alta, aún mayor que la que requieren los colectores de los transistores empleados, de modo que esos electrodos se conectan a derivaciones de las bobinas L, las que suelen estar en la mitad de su bobinado.

Un detalle que llama la atención es la presencia de una conexión insólita entre la base de entrada y el bobinado secundario, capacitor C_1, y otra del mismo tipo mediante el capacitor C_2. Estos capacitores se llaman *de neutralización*, y reinyectan a la entrada parte de la señal de salida, con el objeto de neutralizar el excesivo acoplamiento que provee el transistor. Como entre

los circuitos de entrada y de salida de un transistor en montaje de emisor a masa hay un defasaje de medio ciclo, es decir que las señales de entrada y de salida se oponen en fase, la parte de señal que reinyectamos tiene sentido contrario a la de entrada, y neutraliza el efecto del acoplamiento entre los circuitos de entrada y salida. Sus valores son bajos, del orden de pocas decenas de micro-microfarad.

Los acoplamientos de base se hacen sobre bobinados secundarios de pocas espiras, o sea de baja impedancia, como se requiere. Los colectores llevan conexión a la fuente de tensión, polo negativo y los emisores al polo positivo, como corresponde a los transistores PNP que se han usado, y según ya lo hemos estudiado.

Veamos ahora un circuito tomado de un receptor común, que difiere un poco del anterior. Lo muestra la figura 83, y se dan los valores para los transistores utilizados. Obsérvese que fundamentalmente no hay grandes diferencias, salvo que la neutralización se hace mediante capacitores de 50 micro-microfarad en serie con resistencias de 1.000 Ohm (1 Kilohm). Se han agregado todas las resistencias de polarización en emisores, bases y colectores, con sus valores típicos para los transistores OC45, y también los capacitores de paso de alta frecuencia. Mediante los mismos, esas resistencias no intervienen en la circulación de la señal, sino de las corrientes continuas; la señal encuentra caminos de menor impedancia a través de los capacitores, y para eso se colocan. Es de notar que los valores especificados son para una tensión de alimentación de 9 Volt. Si se trabaja con 6 Volt deben alterarse en la forma como lo indican los manuales de características o los circuitos prácticos que acompañan a los juegos de bobinas para armar receptores a transistores.

Los circuitos presentados, con las resistencias

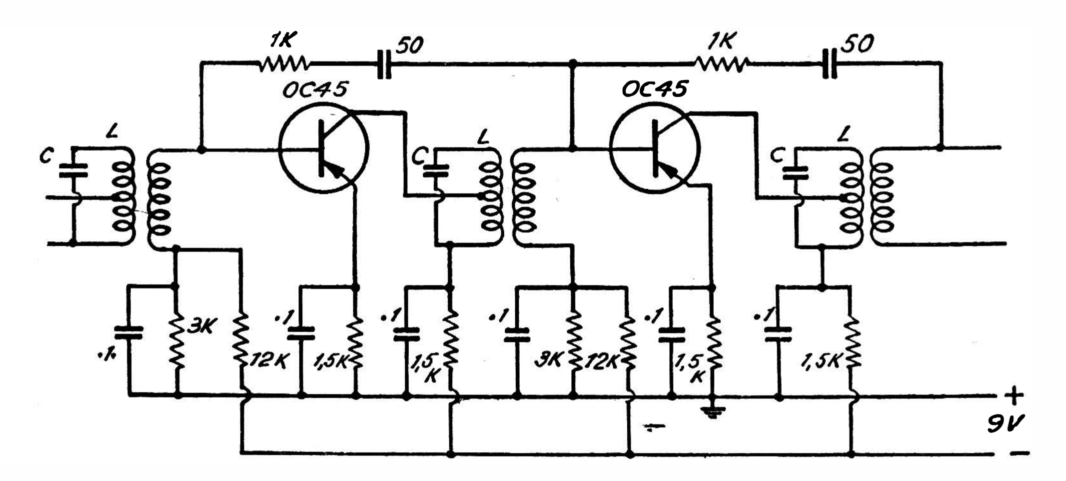


FIG. 83. — Otro amplificador de F. I. a transistores.

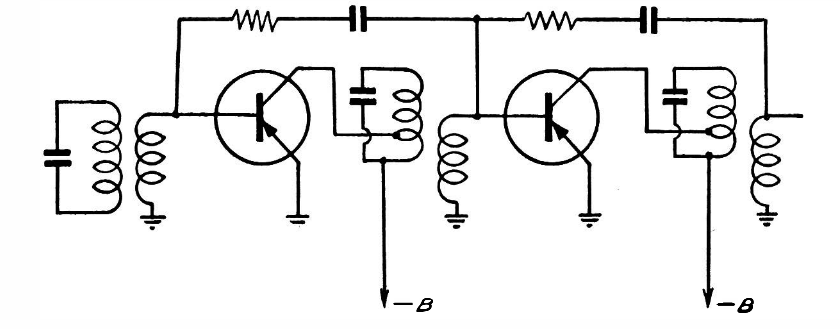


FIG. 84. — Simplificación del esquema de la figura 83 para comprender su funcionamiento.

de polarización, que sólo intervienen para la corriente continua, y los capacitores de paso, que sólo intervienen para la señal alterna, presentan cierta complejidad al lector poco avezado; por ello daremos una recomendación que les simplificará la lectura de los esquemas. Cuando mire el circuito buscando el camino de la señal, suponga que los capacitores de paso a masa son conexiones directas de masa y que los resistores en serie no existen. Cuando mire el circuito siguiendo la corriente continua circulante, mantenga in mente las resistencias de polarización pero haga de cuenta que los capacitores de paso no existen. Si toma cualquier circuito y lo copia de las dos maneras recomendadas, los verá muy simplificados para entender el funcionamiento, aunque sean irreales en la práctica. Véase, por ejemplo, el circuito de la figura 83 considerado a los efectos de la señal únicamente, sin tener en cuenta la corriente continua, en la figura 84. No es real, pero sirve para entender lo que dijimos antes.

Día 8

Ya hemos estudiado al transistor en su función amplificadora, tanto en baja como en alta frecuencia, y sabemos distinguir cuando se trata de un amplificador de corriente, de tensión o de potencia. En el caso de los amplificadores de alta frecuencia, sabemos también que la carga es un circuito resonante o sintonizado, y este último detalle es muy importante para el tema que nos ocupará en la presente jornada. Sería conveniente dar un vistazo al último capítulo, para recordar bien todo lo atingente a tal tipo de circuito, pues lo necesitamos.

De paso, es conveniente consignar que es común caer en el error de suponer que el transistor o la válvula electrónica cumple una función de generar señales, cuando en realidad sólo ayuda a producirlas. El oscilador, como veremos en detalle, es un generador de señales alternas, o de ondas eléctricas, pero la verdadera función del transistor en tal dispositivo generador, es la de amplificar, acoplar, realimentar o algo así. Por sí mismo no puede producir una señal que ya no exista. La aseveración precedente da a nuestro tema del día un mayor interés, por lo que recomendamos poner la máxima atención en las páginas que siguen, ya que para muchos lectores ello será una novedad, y para otros servirá para fijar conceptos precisos.

OSCILADORES A TRANSISTOR

La oscilación eléctrica

Todos recordamos al péndulo del reloj antiguo, con su movimiento oscilatorio o de vaivén, y ese elemento se ha usado muchas veces para establecer un paralelo con la oscilación eléctrica, del mismo modo que la corriente de agua se empleaba como ejemplo en los paralelos con la corriente eléctrica. Firmes en nuestro principio de evitar los paralelos que no tengan un riguroso fundamento científico, dejaremos que el lector recuerde el fenómeno pendular como figura física para justificar una denominación, la *oscilación*. Pero expliquemos la oscilación eléctrica como lo que es.

Tomemos el clásico conjunto formado por una bobina y un capacitor, que mostramos una vez más en la figura 85. Supongamos que el capacitor está cargado de electricidad, por haberlo colocado así en el circuito. La bobina forma un circuito cerrado, luego el capacitor se descargará sobre ella, circulando una corriente que no tiene un valor constante, sino variable. Esta corriente variable, al circular por la bobina, da origen a fenómenos de autoinducción, aparece una fuerza electro-motriz en la bobina, la cual puede interpretarse como una diferencia de potencial entre sus extremos, capaz de volver a cargar al capacitor, con una corriente de carga, contraria a la anterior, que tampoco es constante sino variable. El capacitor cargado vuelve a descargarse sobre la bobina y así sigue el fenómeno.

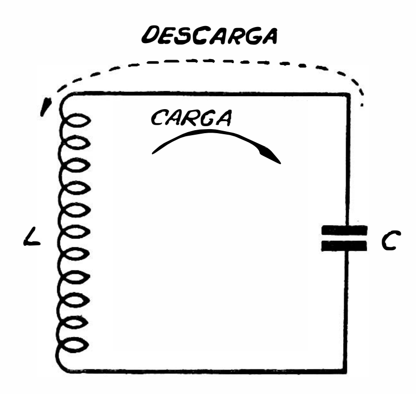


FIG. 85. — Efecto de la oscilación eléctrica.

Veamos; tenemos energía eléctrica que pasa del capacitor a la bobina y de ésta al capacitor, luego otra vez a la bobina y nuevamente al capacitor. La imagen de esa energía eléctrica en su desplazamiento en vaivén es la del péndulo, de ahí que se haya denominado *oscilación eléctrica.* No podemos, dentro del nivel de este libro,

hacer el desarrollo de los valores de la corriente en cada instante, pero podemos representar su forma de variación, que es una senoide, como lo

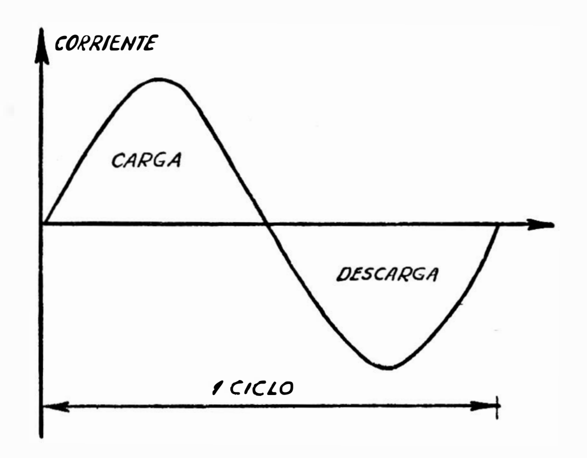


FIG. 86. — La oscilación eléctrica resulta una corriente alternada, cuyo gráfico es una senoide.

vemos en la figura 86. El ciclo completo consta de una carga y una descarga del capacitor, y dura una fracción de tiempo que se llama *período*. La cantidad de períodos en un segundo se llama *frecuencia*.

Teóricamente, la oscilación se mantendría indefinidamente, pero en la práctica no ocurre así. La bobina está hecha con alambre, y ese alambre tiene resistencia eléctrica. El capacitor tiene un material entre placas, y ese material no es aislador perfecto, de modo que hay pequeñas fugas de corriente. La resistencia de la bobina y las fugas del capacitor hacen que la energía eléctrica que teníamos originalmente en el capacitor se vaya perdiendo, hasta que prácticamente desaparece. Las oscilaciones van siendo cada vez de menor amplitud hasta desaparecer. La figura 87 nos quiere mostrar esto, y nos dice que se trata de oscilaciones amortiguadas.

Resumamos, para fijar ideas; tenemos un conjunto de bobina y capacitor, y si aplicamos una carga a este último, el conjunto comienza a oscilar, con una cierta frecuencia que depende de los valores de la capacidad del capacitor y de la inductancia de la bobina. Pero esas oscilaciones desaparecen en breve tiempo. Luego, nuestro oscilador no sirve. Veamos cómo podemos hacer para que entretenga o mantenga las oscilaciones.

La figura 88 nos da una idea al respecto. Se trata de aplicar el conjunto oscilante a la entrada de un amplificador, y la salida de éste aplicarla a una bobina que esté colocada arrimada a la bobina L del conjunto oscilante. ¿Qué ocurrirá? Que la energía eléctrica que se va perdiendo por la amortiguación del circuito, se recupera por la reinyección o realimentación que estamos haciendo, por vía inductiva, mediante la bobina auxiliar de realimentación. Claro que la salida del amplificador puede también llevarse a otro lado, además de alimentar la bobina auxiliar, y eso sería la salida de señal útil de nuestro oscilador.

Recapitulemos; el conjunto de la figura 88 es un oscilador, pero no puede llamarse así al

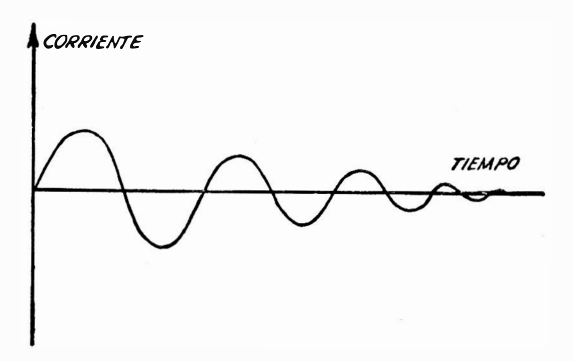


FIG. 87. — Las oscilaciones van disminuyendo, o sea que son amortiguadas.

circuito LC solamente, ni al amplificador, ni a la bobina de realimentación. Si el amplificador es una válvula termoiónica, suele denominársela como *osciladora* en este circuito, pero vemos que

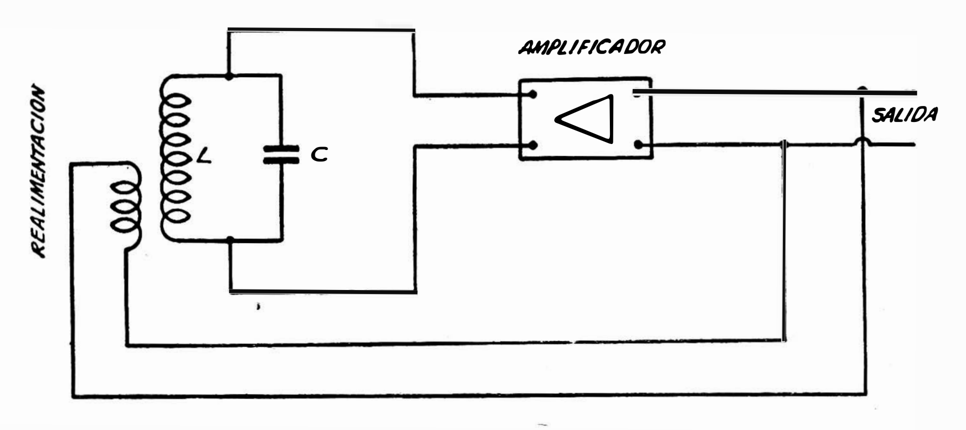


FIG. 88. — Forma de evitar la amortiguación mediante realimentación.

esa denominación no es estrictamente correcta. La válvula ayuda a mantener las oscilaciones. Si es un transistor, lo mismo.

Hay un detalle muy importante a tener en cuenta en la realimentación mediante la bobina auxiliar. No debemos reinyectar demasiada energía al circuito oscilante LC, sino la necesaria para cubrir su amortiguación; este es el primer aspecto, y se resuelve haciendo la bobina

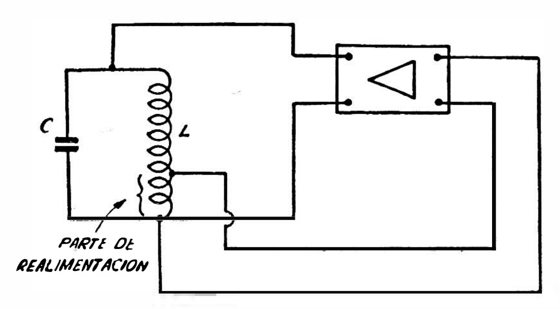


FIG. 89. — La realimentación puede hacerse tomando parte de la bobina del circuito resonante.

auxiliar con pocas vueltas y un acoplamiento con la bobina L que no sea demasiado fuerte. El segundo aspecto es que la realimentación debe reinyectar energía en fase, ya que siendo una senoide la señal en el conjunto LC, la señal reinyectada también lo será, pero debe coincidir en su fase una senoide con la otra; si no se procediera así, en lugar de ayudar a compensar el amortiguamiento lo provocaríamos más rápido. En términos eléctricos, si la señal de reinyección elimina la oscilación, deben invertirse los terminales de la bobina de realimentación, es decir los cables que la conectan.

El montaje del oscilador en la forma que muestra la figura 88 no es el único. En Radio es usual denominar a los osciladores con el nombre de quien los experimentó inicialmente. Así, el de la figura 88, a realimentación inductiva directa, se denomina *Meissner*. Veamos ahora el tipo *Hartley* y el tipo *Colpitts*, los otros dos más populares.

La figura 89 nos muestra el montaje Hartley, o sea de realimentación inductiva pero sin bobina auxiliar, ya que para esa función se usa una parte de la bobina del circuito oscilante. El conjunto LC es el mismo, o sea que sus valores son los que dan la frecuencia de resonancia, tal como veremos. Parte de la bobina L, tomada mediante una derivación en el bobinado, se usa para reinyectar la salida del amplificador, de modo que compensamos la amortiguación del circuito LC en forma similar a la anterior. La derivación debe contar con pocas espiras, y en la práctica suele tener solamente de un 10 a un 20 % del total de la bobina.

La figura 90 nos muestra el montaje Colpitts, en el cual la realimentación se hace mediante una derivación en el capacitor C, para cuyo efecto se usan dos capacitores en serie, cuya capacidad equivalente debe ser el valor C que teníamos antes. Como la realimentación debe tomar poca impedancia, el capacitor inferior es de mayor capacidad que el superior, ya que a mayor capacidad menor impedancia. Pero veamos estas cosas con mayor detalle.

Relaciones numéricas

Hemos dicho que la frecuencia de las oscilaciones dependía de los valores de capacidad del capacitor C y de inductancia de la bobina L. Aclaremos primero que esos tres datos tienen unidades prácticas; así, la inductancia suele medirse en microhenry, la capacidad en microfarad, y la frecuencia en Kilociclos por segundo, para muchos cálculos prácticos. Bueno, los cálculos pueden hacerse partiendo de dos de esas cantidades conocidas para hallar la tercera, y para ello hay fórmulas, pero lamentablemente no soy muy simples.

Para dar al lector algún elemento que le permita hacer esos cálculos, veamos el ábaco de la figura 91. Tiene tres ejes verticales, y para usar-

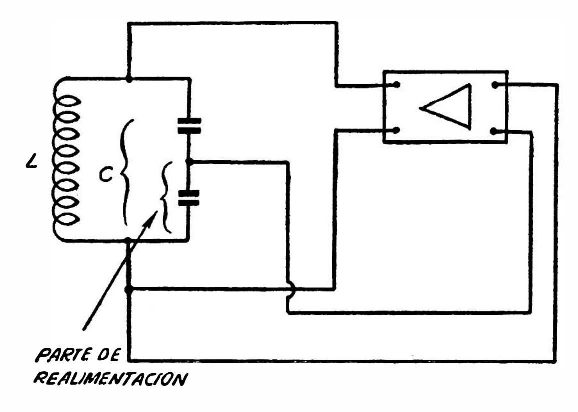


FIG. 90. — La realimentación puede hacerse sobre una parte capacitiva.

lo debemos usar una regla transparente que corte a los tres ejes en tres puntos, dos de ellos marcados de intento, y el tercero como resultado. Por ejemplo, supongamos que se pregunte cuál es la inductancia necesaria para dar una frecuencia de 550 Kc/s con un capacitor de 0,0005 microfarad. Colocamos la regla en esos dos puntos, que son los B y A, y el tercero, el F, resulta dado por la regla sobre la primer escala vertical; es 170 microhenry.

Obsérvese, de paso, que para frecuencias altas se ha colocado la unidad Megaciclo por segun-

do, y que para capacidades bajas se ha colocado un factor 10^{-6}, que equivale a un divisor de un millón. Unas cuantas pruebas con el ábaco, nos pondrán prácticos.

Con respecto a las impedancias de realimentación, diremos que, en todos los osciladores, debemos conectar al transistor elementos que tengan una impedancia adecuada para el electrodo al cual se conectan. El circuito resonante paralelo siempre tiene alta impedancia, luego siempre debe ser conectado al colector del transistor. La realimentación debe ir a otro electrodo, y sabemos que tanto la base como el emisor son de baja impedancia; en consecuencia, la realimentación debe tener baja impedancia.

Supongamos el sistema de la figura 88. La bobina de realimentación tendrá pocas espiras, para presentar baja impedancia. En el caso del sistema Hartley, figura 89, la impedancia de la derivación sabemos que es mucho menor que la que resulta de la relación de espiras. Recordemos que un décimo de espiras equivalía a un centésimo de impedancia, y así sucesivamente. Luego, será fácil determinar cuantas espiras de-

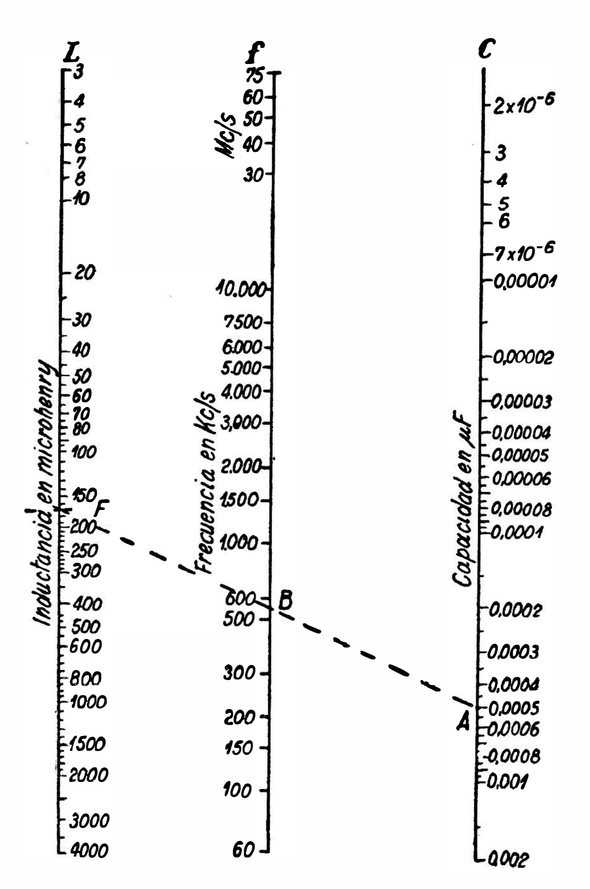


Fig. 91. — Gráfico que permite calcular los circuitos de oscilación.

Fig. 92. — Dos capacitores en serie dan por resultado menor capacidad total.

ben tomarse para la realimentación si se conoce la impedancia necesaria.

Con respecto al caso de la figura 90, el montaje Colpitts, las dos capacidades juntas deben dar la capacidad C del circuito resonante, pero al mismo tiempo, deben estar relacionadas entre si según las impedancias necesarias. Como esto es algo complicado, veamos la figura 92 que nos aclara algo el panorama. Las dos capacidades están en serie, luego la capacidad resultante debe calcularse por el cociente entre el producto de ellas y la suma de las mismas. Las impedancias son inversas de las capacidades. Busquemos una simplificación para que el lector poco avezado a los planteos matemáticos no se confunda.

Llamemos a la relación entre la capacidad C_2 y la C_1 con una letra m. Si C_2 es 4 veces más grande que C_1 esa cifra m vale 4, y así siguiendo. Para calcular la capacidad total C, multiplicamos al valor de C_1 por un número que resulta de dividir m por $(m + 1)$. Si la impedancia total vale Z y la del capacitor C_2, que es la que nos interesa, por suministrar la realimentación, vale Z_2, se cumple que si restamos una unidad al cociente entre Z y Z_2, tendremos el valor de m. Escribamos esas tres expresiones para los amigos de las fórmulas, ya que les serán de utilidad:

$$\frac{C_2}{C_1} = m$$

$$C = C_1 \frac{m}{1 + m}$$

$$m = \frac{Z}{Z_2} - 1$$

Un caso práctico nos aclarará más el panorama. Supongamos que la impedancia necesaria para acoplar al capacitor de realimentación sea la décima parte de la impedancia del circuito resonante; eso quiere decir que $Z = 10\ Z_2$, y

con esos dos valores calculamos *m* que vale 9. Si *m* vale 9, quiere decir que C_2 debe tener un valor 9 veces mayor que C_1. Independientemente, el total C debe tener un valor que resulte del ábaco de la figura 91, según la frecuencia necesaria para la oscilación.

El multivibrador

Puede hacerse un oscilador que no tenga circuito sintonizado, ya que basta realimentar la salida de un amplificador de dos etapas a la en-

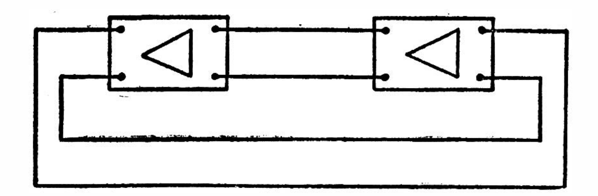


FIG. 93. — Principio de acción del multivibrador.

trada del primero. La figura 93 nos muestra el circuito que se llama *multivibrador*.

En primer lugar, al no haber un circuito resonante, con cierto valor de L y cierto valor de C, no habrá una señal de salida que tenga una frecuencia determinada, sino una señal formada por la mezcla de sinnúmero de frecuencias, de ahí el nombre de multivibrador.

En segundo lugar, para determinar una frecuencia fija, hay que inyectar en el multivibrador una señal de control, que se llama de *sincronismo*, y de ese modo el multivibrador puede convertirse en un oscilador de frecuencia fija.

En resumen, el multivibrador es un oscilador multifrecuencia de alto rendimiento, por ser fuerte la realimentación que se aplica, ya que toda la salida de la segunda etapa se aplica a la entrada de la primera. Para fijar la frecuencia debemos contar con una señal sincronizante. Pero todo esto interesa exclusivamente en televisión, que es donde se aplican preferentemente los multivibradores. Por tal motivo, por ahora los dejaremos, para mencionar más adelante algún circuito real, con valores, y nada más.

Circuitos osciladores de audio

Sentados los principios de la oscilación y la manera de mantenerlas mediante realimentación de energía, pasemos a los circuitos de osciladores de audiofrecuencia que emplean transistores en esa función. Ya sabemos que el transistor tendrá un montaje amplificador, y que habrá un circuito resonante realimentado. La frecuencia de la señal producida depende de los valores de L y C con exclusión de las características del transistor.

Tomemos, en primer término el oscilador Meissner, cuyo circuito a transistor mostramos en la figura 94. El circuito resonante es de alta impedancia, y ya hemos dicho que esa propiedad obliga a conectarlo en el colector del transistor; en el caso de las válvulas termoiónicas, había la posibilidad de conectarlo en los circuitos de grilla o de placa.

La realimentación es de baja impedancia, por necesitarse generalmente un bobinado de pocas espiras, de modo que puede conectarse en el circuito de base. Con ello tenemos un montaje amplificador de emisor a masa, que sabemos es de alto rendimiento. La frecuencia de oscilación depende de los valores de L y C, según sabemos. Obsérvese que se ha colocado a la salida un potenciómetro, para poder tomar toda o parte de la señal obtenida. Además, para evitar que el circuito de salida lleve polaridad continua, la que suministra la batería, se coloca el capacitor C, de alta capacidad si el circuito que sigue es de entrada por baja impedancia, como es corriente empleando transistores.

La resistencia R sirve para dar la polarización adecuada a la base y su valor depende del tipo de transistor. El de la figura, por ser PNP lleva

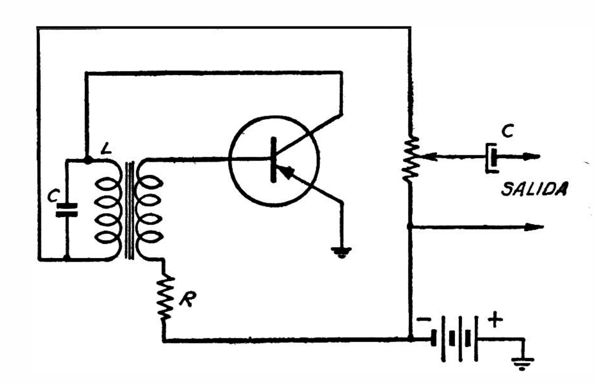


FIG. 94. — Circuito de un oscilador Meissner de audiofrecuencia.

polaridad positiva a masa. La relación de espiras del transformador formado por los dos bobinados debe cumplir con dos condiciones: la primera es que la inductancia L del bobinado primario debe tener un valor adecuado a la cifra de frecuencia que se desea obtener para la señal; la segunda es más complicada, pues el bobinado secundario debe tener la cantidad de espiras necesarias para asegurar la realimentación del oscilador y al mismo tiempo, presentar sobre la base del transistor la impedancia adecuada a su máximo rendimiento. Como no es posible siem-

pre cumplir con ambas condiciones, suele calcularse ese bobinado para que cumpla con las condiciones de realimentación, que es lo importante en un oscilador, y tratando de que la impedancia sobre base sea lo más próxima posible al valor óptimo.

También puede diseñarse un circuito Meissner conectando el transistor en montaje con base a masa, y la figura 95 nos muestra el circuito a emplear. Se necesitan dos baterías, y el bobinado de realimentación, en este caso, se aplica a la entrada por emisor del transistor conectado como amplificador. Los demás elementos del circuito tienen la misma justificación que se ha dado para la figura 94.

Y ahora pasemos a un circuito oscilador en montaje Colpitts, o sea a realimentación por medio de capacitores, tal como lo explicamos para la figura 90. El circuito completo aparece en la figura 96, y se empleó un montaje de transistor como amplificador con base a masa. Ya sabemos que la capacidad total C, que interviene en el cálculo de la frecuencia, es la combinación de los valores de los dos capacitores; esto ha sido explicado in extenso al referirnos a la figura 92.

Hay un detalle que es común a todos los osciladores de audiofrecuencia que hemos tratado y es que en todos los casos los bobinados se hacen sobre núcleos de hierro. Ello se debe a que los valores de inductancia que se necesitan para frecuencias bajas son altos; en efecto, si volvemos a la figura 91, que no nos sirve para audiofrecuencia porque no llega a frecuencias tan

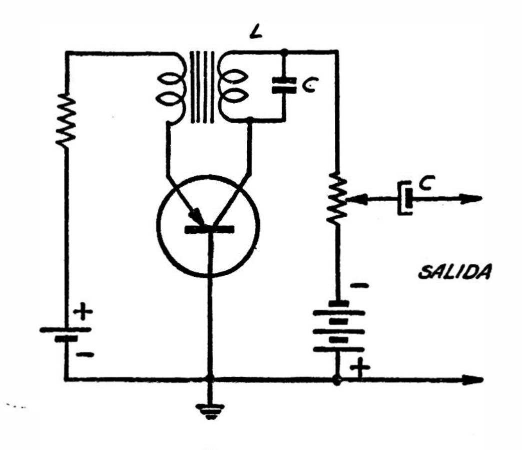


FIG. 95. — El mismo oscilador Meissner, pero con el transistor con base a masa.

bajas, veremos que en la parte inferior, ya para frecuencias del orden de las decenas de Kilociclos, las inductancias necesarias son del orden de los millares de microhenry, o sea que ya entramos en cifras que no son fácilmente alcanzables con bobinas sin núcleo. Claro que esta cuestión pertenece a las altas especulaciones de los cálculos técnicos, que no son temas para este libro.

Circuitos osciladores de R.F.

Del mismo modo que se puede hacer un oscilador cuya señal tenga una frecuencia del orden de unos cuantos millares de ciclos por segundo (audiofrecuencia) pueden disponerse los valores

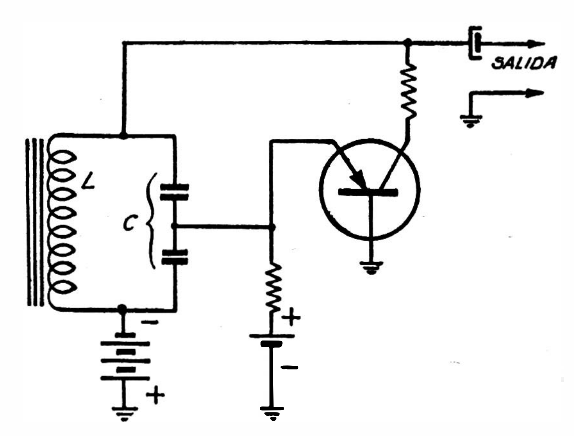


FIG. 96. — Circuito de un oscilador Colpitts de audio.

de L y C para que esa señal tenga una frecuencia del orden de los millones de ciclos (R. F.). El funcionamiento de un oscilador de R. F. es completamente similar, en cuanto a su principio, a los de audio; la diferencia que podemos encontrar es que los elementos tienen distintos valores. Además, si queremos frecuencias altas, debemos cuidar, al elegir el transistor, que no se supere la frecuencia de corte del mismo.

Por lo pronto, las bobinas no tienen núcleo de hierro, en el sentido que se refiere a los núcleos de chapas apiladas. A veces se emplean núcleos de cerámicas magnéticas, que se hacen con polvo de hierro aglomerado, y otras veces se usan bobinas sin núcleo. Muchos lectores saben el motivo por el cual no se puede usar el núcleo de chapas de hierro en alta frecuencia, pero para los que no lo saben, diremos, en forma sintética, que en la masa metálica del núcleo se inducen corrientes de alta frecuencia, de la misma frecuencia de la señal que tenemos en los bobinados, y que esas corrientes representan una pérdida de energía; la teoría de los núcleos magnéticos nos dice que tales pérdidas crecen con el cuadrado de la frecuencia, es decir que a frecuencia doble son cuádruples, a frecuencia 100 veces mayor son 10.000 veces mayores, etc. Luego, es fácil entender que a frecuencias altas las pérdidas serían tan grandes que se gana rendimiento quitando el núcleo. La técnica de los núcleos pulverizados ha progresado tanto, que

se usan con ventaja los mismos, con ganancia sobre el factor de pérdidas.

Pasemos a los circuitos de osciladores de R. F. La figura 97 nos muestra un montaje Meissner, con el circuito resonante en colector, como es de práctica con transistores. La realimentación se conecta a la base, en el transistor montado con emisor a masa. Se han puesto cifras para el transistor CK760, tipo PNP. La salida se toma con un tercer bobinado, cosa muy utilizada en osciladores de R. F. a transistor, para tener mejores soluciones en la adaptación de impedancias, ya que sabemos, por lo estudiado en el capítulo 6, que relacionando adecuadamente los números de espiras, se logra siempre una buena adaptación de impedancias.

Los tres bobinados de la figura 97, que son el de oscilación, el de realimentación y el de salida, están acoplados entre si por vía inductiva. Cuando en un circuito dos bobinados acoplados quedan dibujados uno algo lejos del otro, suele indicarse el acoplamiento con una línea de puntos, tal como se la ha marcado en dicha figura. En lo demás, el circuito no presenta otras particularidades, ya que los valores indicados corresponden al transistor elegido y a la tensión que se usa para el circuito. Actualmente hay

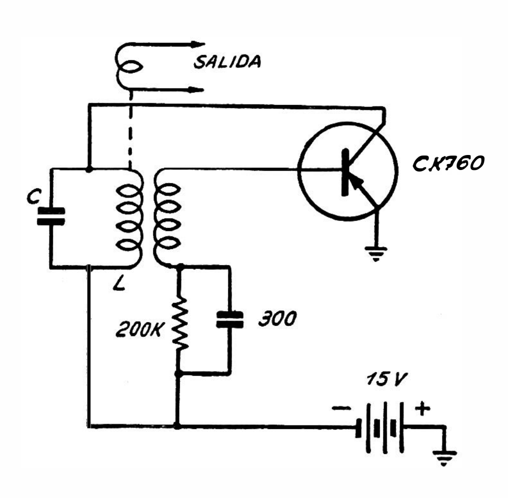


FIG. 97. — Circuito de un oscilador Meissner para R. F.

muchos transistores que mantienen bien las oscilaciones con tensiones mucho más bajas, como 9 Volt y 6 Volt.

Al efecto, veamos el circuito de la figura 98, que forma parte de un receptor común de los que se encuentran en plaza. Se usa un transistor tipo 2SA52 como oscilador, aunque ya sabemos que esta denominación no es muy ajustada a la realidad pero es la palabra usada para designar la función de colaboración en la oscilación. Obsérvese que el capacitor C del circuito resonante es variable, porque debemos cambiar la frecuencia de oscilación dentro de ciertos límites, ya que estamos frente a una parte del circuito de sintonización de un receptor.

El montaje amplificador es de emisor a masa, con resistencia de polarización de emisor inter-

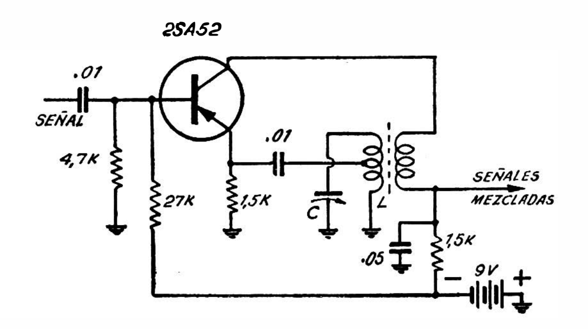


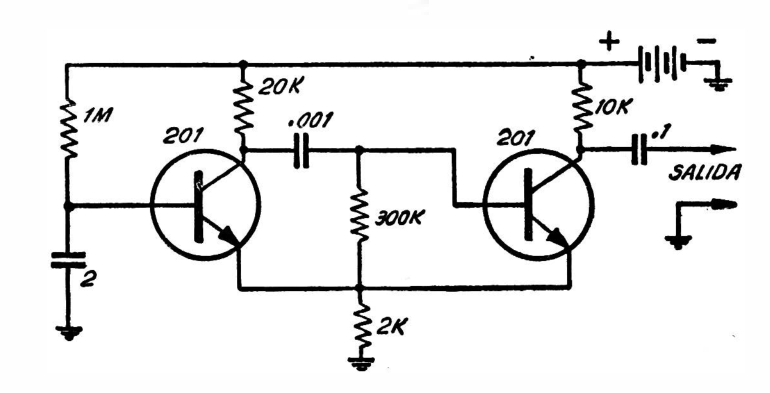
FIG. 98. — Circuito de un oscilador de R. F. usado en los receptores de radio.

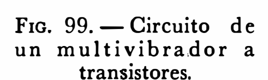
calada. La entrada, que en otros osciladores no existía, se debe a que este circuito, además de generar una señal, la debe mezclar con otra señal proveniente de la antena del receptor, pero este es asunto que estudiaremos más adelante. Llamará la atención del lector el hecho de que el circuito sintonizado no está, en este caso, en el colector del transistor, sino en el emisor. La razón es que se trata de un montaje especial de amplificador con dos entradas, una por base (la señal de antena) y otra por emisor (el oscilador propio) y en el circuito de colector debemos recoger la mezcla de esas dos señales, cosa que tenemos en la bobina de realimentación, que en cierto modo, es también la de salida. Claro que, siendo un circuito tan especial, no debe entenderse que los osciladores de R. F. son siempre así. Se ha puesto este modelo porque el lector lo encontrará muy frecuentemente, ya que en cualquier receptor a transistores hay seguramente un oscilador igual o similar al de la figura 98. Hay un detalle que debe destacarse: los capacitores de paso de la señal, que en los osciladores de audio eran de alta capacidad, en R. F. son de baja capacidad; en la figura tenemos tres de ellos, dos de 0,01 y uno de 0,05 microfarad. La razón de poderse emplear baja capacidad es que, como ya sabemos, a medida que aumenta la frecuencia de la señal baja la impedancia de los capacitores, y como estamos tratando frecuencias altas pueden usarse capacidades bajas.

Multivibrador a transistores

De acuerdo con el esquema básico de la figura 93 pueden diseñarse circuitos multivibradores con transistores, bastando para ello aplicar a la entrada de una etapa amplificadora la salida de una segunda etapa similar. También puede lograrse el mismo resultado si se introduce un elemento común a las dos etapas, por ejemplo una resistencia que pertenezca a los dos emisores de los transistores. Este caso es interesante, y en la fig. 99 lo mostramos en un circuito práctico.

Los dos transistores son del tipo NPN y están conectados en montaje amplificador de emisor a masa, pero los emisores tienen una resistencia común de polarización que no lleva el clásico capacitor de paso derivado. De esta manera, la señal que se hace presente en un emisor queda automáticamente aplicada al otro. Por consiguiente, el circuito aparenta ser un amplificador de dos etapas de emisor a masa, pero a los efectos de la realimentación, funciona, por lo menos con respecto a la primera etapa, con base a masa. El diseño pertenece a la Texas Instrument Inc., que es la fabricante de los transistores tipo 201 que se emplean.




Fig. 99. — Circuito de un multivibrador a transistores.

Día 9

Hemos estudiado el funcionamiento y las aplicaciones de los diodos y transistores comunes, y entonces sabemos cómo rectifican los primeros y cómo amplifican y oscilan los segundos. Si bien sabemos que entre los diodos hay tipos de silicio y de germanio, con diferencias constructivas, y entre los transistores hay los tipos PNP y los NPN, que llevan distinta polaridad, no se han establecido comportamientos dispares entre unos y otros tipos. Es decir que los diodos y transistores que ya conocemos pueden considerarse los modelos comunes, los más generalizados, los que cumplen funciones clásicas y que veremos en todos los circuitos. La teoría estudiada para un tipo puede aplicarse a los otros, y así ha ocurrido con los que hemos tratado en los días anteriores.

Pero las fábricas han construído otros tipos de diodos y de transistores, cuyo principio o cuya aplicación es fundamentalmente distinta a la de los casos ya vistos. Los diodos Zener, *los diodos* túnel *y los* foto-diodos, *por ejemplo, serían típicos representantes de los tipos especiales para los diodos, y son los que nos ocuparán en esta jornada. Para los transistores especiales reservaremos otro día de labor, pues también los hay, y si bien no son de aplicación muy generalizada en los circuitos comunes, vale la pena estudiar sus particularidades.*

DIODOS ESPECIALES

EL DIODO ZENER

Antes de entrar en la descripción de estos diodos, convendría volver un poco atrás, a las figuras 16 y 19, que mostraban las curvas características de un diodo semiconductor. Dijimos en esa oportunidad que en el diodo semiconductor hay una corriente inversa, que es muy pequeña, pero que si se sobrepasa un cierto valor del potencial, que supera el punto A (Fig. 16) esa corriente crece bruscamente, y toma el nombre de corriente de Zener. Es como si se rompiera la estructura del edificio atómico, como si se produjera bruscamente una *avalancha* de cargas eléctricas. Destacamos la palabra avalancha, porque precisamente es el nombre que se da habitualmente a esa corriente que bruscamente adquiere un valor grande. La figura 19 nos mostró las dos corrientes que circulan a través del diodo, la directa y la inversa, en un mismo gráfico.

Con ese repaso previo, pasemos a la figura 100, que repite las curvas de la figura 19. Si tomamos un diodo y le aplicamos una tensión directa, es decir la que corresponde al esquema de la figura 101, circulará por él la corriente directa I, limitada por el valor de la resistencia R, ya que en ese sentido de circulación la resistencia interna del diodo es muy pequeña. Claro está que no tiene objeto conectar un diodo para que deje pasar la corriente continua,

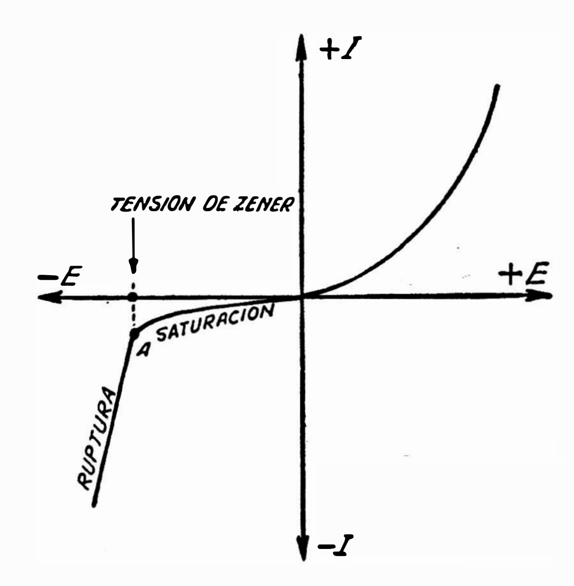


Fig. 100. — Indicación del punto de Zener en la curva de corriente del diodo.

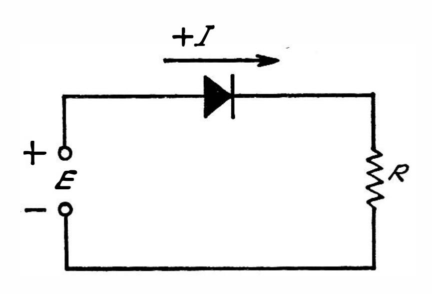


FIG. 101. — Aplicación de tensión directa a un diodo.

que ya lo era antes de conectar dicho diodo. En el gráfico de la figura 100, esa corriente corresponde a la curva de la derecha, la que usa los ejes +E y +I.

Pero ahora apliquemos una tensión negativa al diodo, es decir una tensión que tenga polaridad opuesta a la de la figura 101, o, lo que es lo mismo, demos vuelta al diodo y conectémoslo como vemos en la figura 102. Aparentemente no circularía corriente, pero recordemos la corriente inversa, y entonces debemos admitir que circulará la corriente dada por la curva de la izquierda en la figura 100, o sea la que se mide por los ejes —E y —I, ya que para el diodo es una corriente negativa.

Si la tensión aplicada es baja, menor que la que corresponde al valor de Zener, la corriente que pasa por el diodo invertido es muy pequeña, como se nota en el gráfico; pero si se aplica una tensión que supere ese valor crítico, la corriente crece bruscamente, se produce la avalancha, y a pequeños aumentos de la tensión corresponden grandes aumentos de la corriente. Esto último se nota por la inclinación abrupta de la curva después del punto crítico A.

Hasta aquí se comprende el comportamiento del diodo conectado al revés, pero parecería que debemos evitar que se sobrepase el punto crítico, porque si ocurre tendríamos una corriente inversa de valor elevado. En los diodos comunes encontramos recomendaciones de fábrica de no sobrepasar la máxima tensión negativa o inversa, porque esa corriente de Zener produce una fuerte elevación de temperatura, y el diodo se

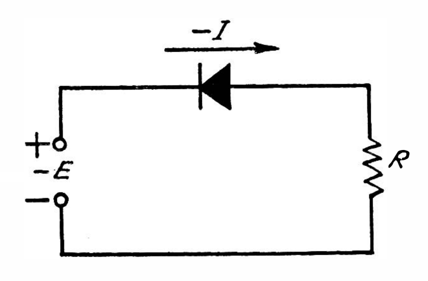


FIG. 102. — Aplicación de tensión inversa a un diodo.

perjudica y hasta se inutiliza. Sin embargo, numerosos diodos soportan valores relativamente altos de corriente inversa (citemos los 1N1507 al 1N1512, en numeración corrida, como los más comunes) y en consecuencia, pueden ser usados como diodos Zener.

Aplicación del diodo Zener

Ahora que hemos justificado un funcionamiento aparentemente irregular de un diodo, debemos explicar el objeto de conectarlo al revés de lo que hasta ahora considerábamos normal. Para ello observemos el circuito de la figura 103, similar al de la figura 102, pero con el agregado de una resistencia R, llamada de *regulación* y otra R_c, llamada de *carga.* Esta resistencia de carga es un valor ficticio, porque si nuestro circuito de carga tiene una tensión E_c y una corriente de consumo I_c, el cociente entre esa tensión y esa corriente nos da un valor de resistencia, que es R_c, y entonces la dibujamos

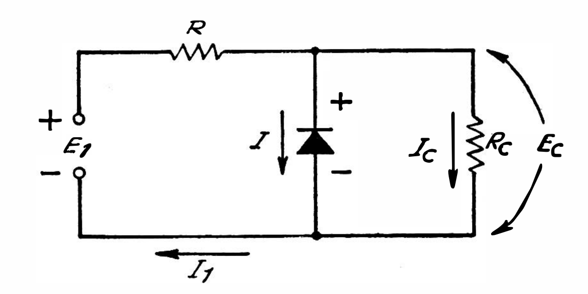


FIG. 103. — Principio de la regulación de tensión con un diodo Zener.

en el circuito aunque no exista físicamente. Es como si el aparato de consumo fuese una caja cerrada, y sabemos que aplicando E_c Volt consume I_c Amper; podemos decir que dentro de la caja hay una resistencia R_c que vale tantos Ohm como el cociente entre E_c e I_c.

Analicemos el funcionamiento del circuito de la figura 103. Necesitamos en la carga una tensión E_c que sea constante, que no varíe. La tensión disponible en la fuente es E_1 y no es fija, sino que experimenta variaciones debido a cualquier razón que no nos interesa. Todo lo que debemos fijar es que el diodo utilizado debe tener una tensión de Zener menor que E_1 para que funcione como diodo Zener.

Supongamos primero que E_1 aumenta de un valor E_1 hasta un valor E_2, como lo mostramos en la figura 104, que toma parte de la 100, pero en la zona que nos interesa. La corriente a través del diodo aumenta de un valor I_1 a un valor I_2; ese aumento provocará una caída de tensión

mayor en la resistencia R, y si ese valor de R se ha calculado bien, la tensión en la carga E_c puede permanecer invariable.

Si en lugar de un aumento, lo que ocurre es una disminución en la tensión de la fuente, que de un valor E_2 baja a un valor E_1, la corriente a través del diodo baja de un valor I_2 a un valor I_1. La caída de tensión en la resistencia R se reducirá, y en la carga podremos tener una tensión E_c que no se reduzca.

En resumen, el diodo Zener está trabajando como *regulador de tensión*, con ayuda de la resistencia R. ¿Cuáles son las condiciones para que se comporte como tal? Hay tres condiciones, que fijaremos de inmediato.

La primera se refiere a la tensión que puede regular. La zona de trabajo está limitada por los puntos A y B en la figura 104, y ellos se fijan para dos tensiones y dos corrientes; las corrientes, y ésta sería la segunda condición, son: I_1, valor límite inferior, es la corriente crítica para la cual el diodo rompe la estructura y se produce la avalancha. Ese punto, corriente mínima, también fija la tensión mínima E_1, tensión de Zener para ese diodo. El otro punto es el B, y está dado por la corriente I_2, máxima corriente inversa a través del diodo, compatible con la elevación de temperatura que produce transformación irreversible, es decir que rompe la estructura cristalina del semiconductor. El punto B queda también fijado por E_2 máxima tensión que es posible regular.

Quiere decir que si conocemos las fluctuaciones de la tensión en la fuente, conoceremos los dos límites de trabajo necesarios, y deberemos elegir un diodo cuya zona de trabajo no supere esos dos límites de tensión. En los manuales de características de diodos hay datos y curvas para poder elegir convenientemente el diodo que haremos trabajar como diodo Zener, y la información de si ello es posible.

La tercer condición se refiere a la resistencia R. Su valor está vinculado a la curva de la figura 104. Para calcularlo debemos conocer:

E_2 = tensión máxima de la fuente (Volt)
E_z = tensión de Zener del diodo elegido (Volt)
I_m = corriente mínima para efecto Zener (Amper)
I_c = corriente de carga (Amper)

Y hacer la siguiente consideración: por la resistencia R pasan las dos corrientes, luego debemos sumar los dos valores dados. La tensión de regulación es la diferencia de los dos valores dados de tensión, luego debemos restarlos. El valor de R sale de dividir la diferencia entre las dos tensiones por la suma entre las dos corrientes.

Un ejemplo pondrá las cosas más claras. Supongamos que la fuente sea una batería de acumuladores, cuyo valor más alto es de 13,6 Volt (valor normal 12 Volt). Diodo Zener elegido 1N1511, con tensión de Zener 8,2 Volt. La corriente máxima de Zener de este diodo es 90 mA. Como corriente mínima se toma habitualmente el 20 %, porque no conviene tomar justo el mínimo que da el punto crítico. Luego I_m es

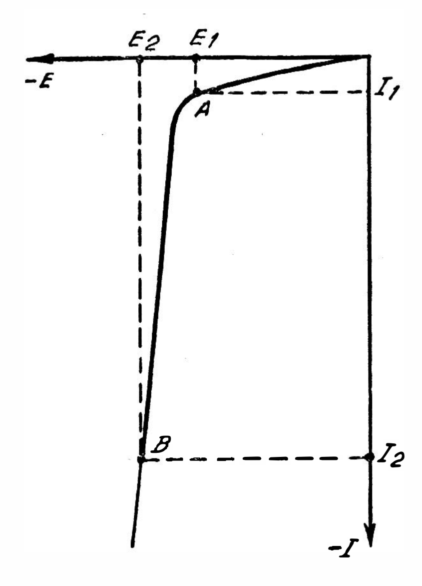


FIG. 104. — Limitaciones de la tensión de trabajo en el diodo Zener.

el 20 % de 90 mA, o sea 18 mA, es decir 0,018 A. La corriente de consumo debe ser un dato, y supongamos que sea de 0,012 A. Pasamos a calcular R. La diferencia de tensiones da:

$$13,6 - 8,2 = 5,4 \text{ V.}$$

y la suma de corrientes nos da:

$$0,018 + 0,012 = 0,030 \text{ A.}$$

luego el valor de la resistencia R de regulación resulta, dividiendo:

$$R = \frac{5,4}{0,03} = 180 \text{ Ohm}$$

Y queda resuelto el problema. Como se ve, no hay ninguna complicación, como no sea la de elegir convenientemente el diodo en el manual de fábrica.

Si la tensión presente en el circuito supera los valores fijados para los diodos Zener disponibles,

puede acudirse a conectar más de un diodo en serie, tal como se ve en la figura 105. Se han colocado tres, suponiendo que de esa manera se

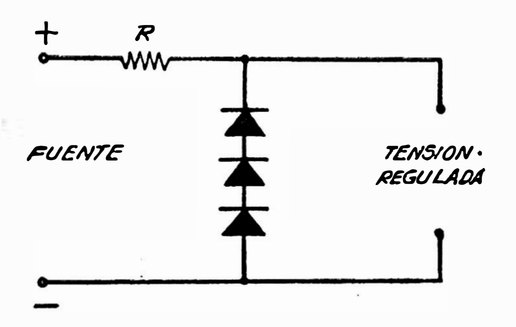


FIG. 105. — Con diodos en serie se pueden regular tensiones más elevadas.

alcanzan las cifras en juego, pero pueden ser necesarios más. Se construyen unidades reguladoras de tensión, como el 1N430, por ejemplo, que incluye tres diodos Zener en su interior.

EL DIODO TUNEL

Veamos ahora un interesante diodo semiconductor, cuyo diseño se debe al físico japonés Esaki, quien los ideó en 1957. Su funcionamiento se aparta del de los diodos comunes, en razón de haber aumentado el grado de impurezas en la masa cristalina, hasta alcanzar una cantidad de 60 mil millones de átomos de impurezas por centímetro cúbico de silicio, en el caso de usarse este material. Para ver la diferencia que se produce, debemos volver a la figura 8 que nos mostraba las bandas de energía en materiales aisladores, semiconductores y conductores. Las tres zonas destacadas de energía en el átomo eran las de combinación, prohibida y de conducción. Y bien, aumentando la cantidad de impurezas en el silicio, se reduce el ancho de la banda prohibida, sin llegar a desaparecer, como en los conductores. Ese estado cristalino que no llega a ser conductor puro, suele llamarse *semimetálico*. Obsérvese que el silicio es aislador, con cierto grado de impurezas se transforma en semiconductor y aumentando las mismas llegamos al semimetal. Podemos hacer cristales de silicio semimetálico tipo N y tipo P, igual que teníamos para los semiconductores, y podemos también hacer una juntura PN.

Estudiemos ahora la juntura PN de dos trozos de silicio, uno P y otro N, pero con alto grado de impurezas conductoras. La figura 106 nos modifica la figura 8 en el sentido de mostrarnos los niveles de energía en la juntura PN; tenemos la barrera de potencial que supone la juntura, y observemos los dos casos, el superior, que corresponde a una juntura PN de diodos comunes, con bajo grado de impurezas, y el inferior, que vale para una juntura PN de un diodo túnel, o sea con semimetales. La diferencia evidente es el distinto espesor de las zonas o bandas de combinación y de conducción, que dan como consecuencia un espesor también distinto para la zona prohibida.

Debido a la barrera de potencial que supone la juntura, al adosar los dos gráficos correspondientes a los dos cristales, hay una diferencia de posición vertical, porque los electrones, para saltar la barrera deben vencer un cierto nivel de energía, dado por la fuente externa de potencial. Pero observemos que en el diodo común, esa diferencia de posición no introduce cambios en el enfrentamiento de las zonas rayadas y blancas; es decir que la zona rayada de la derecha se enfrenta con la rayada de la izquierda y con parte de la prohibida. Pero véase que en el diodo túnel la zona rayada de la derecha se enfrenta en la zona marcada con *x* con la zona blanca de combinación de la izquierda.

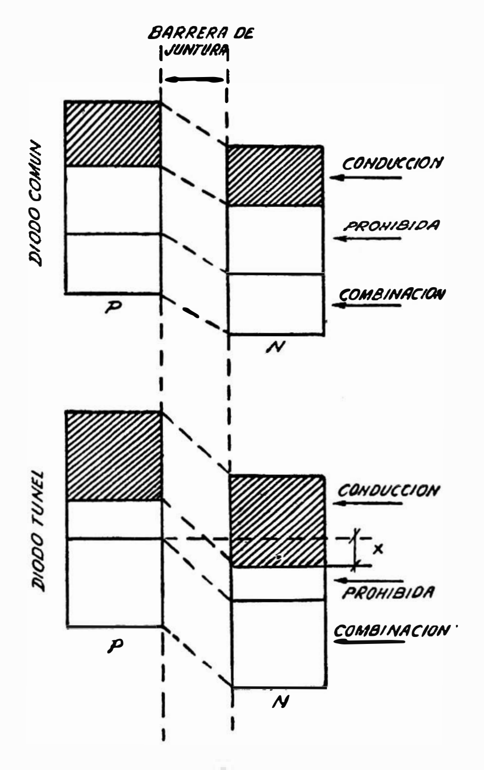


FIG. 106. — Aclaración sobre las bandas de energía en un diodo.

Esto se traduce en un hecho físico muy importante. Una cierta cantidad de electrones de un lado de la barrera, pueden pasar al otro lado

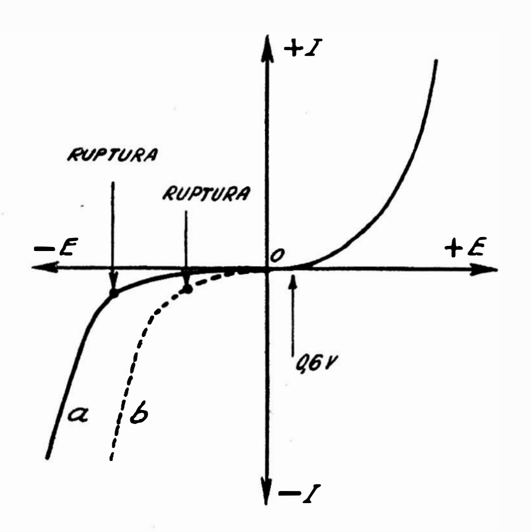


Fig. 107. — Efecto del aumento de impurezas en el punto crítico de un diodo.

sin alterar su nivel de energía, como si existiera un conducto de fácil circulación, conducto ficticio, claro está, pero que se ha denominado *túnel*, y de ahí el nombre de estos diodos. Para ver mejor ese paso de corriente a través de la juntura sin necesidad de energía, tomemos la figura 19, que representa la característica de corrientes a través del diodo, y hagámosla de nuevo en la figura 107, con algunas aclaraciones.

Si damos al diodo polarización inversa, es decir negativa, tenemos la corriente inversa, y sabemos que es muy pequeña mientras no se llegue a la tensión de ruptura o de Zener; pasado ese valor se produce la avalancha, que hemos estudiado en detalle para los diodos Zener. Y bien, si aumentamos el grado de impurezas en un diodo común, la ruptura se produce para menores valores de la tensión negativa, curva *b* en lugar de la *a*. Aumentando más el grado de impurezas, llegamos al estado semimetálico, y la ruptura se produce con tensiones muy bajas, aun nulas, punto 0.

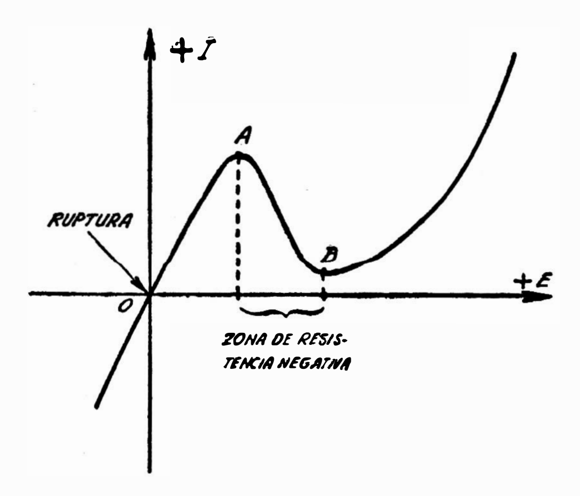


Fig. 108. — Característica de corriente en un diodo túnel.

Veamos ahora lo que ocurre con tensiones positivas, o sea conectando al diodo común con su polaridad directa, dirección de fácil conducción. La curva es la de la derecha de la figura 107. Esa curva no parte del punto 0, pues para vencer la barrera de potencial de la juntura hay que aplicar cierto potencial básico. En los diodos comunes ese potencial básico es del orden de 0,6 Volt. Pero en los diodos túnel las cosas ocurren de muy diferente manera.

La figura 108 nos da la curva característica de un diodo túnel. La zona de tensiones negativas tiene su curva que parte del centro 0, porque, como dijimos antes, la tensión de ruptura no es necesaria, ya que los electrones pueden saltar la barrera sin absorber energía (Fig. 106 inferior). Para tensiones positivas ocurre lo mismo, de manera que con tensiones muy bajas, partiendo de cero, ya tenemos corriente, y así ocurre hasta el punto A; hasta allí, la tensión ha ido aumentando y la corriente también, y en forma lineal. El diodo túnel se comporta así como una resistencia común, pues a mayor tensión mayor corriente, y proporcionalmente.

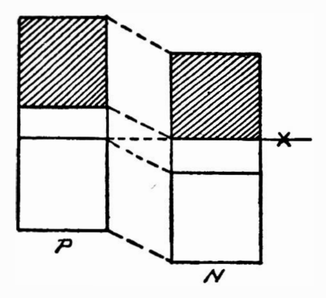


Fig. 109. — Explicación de la zona de resistencia negativa en el diodo túnel.

Veamos lo que ocurre para ese punto A que, como vemos, es importante. Si volvemos a la figura 106, podemos decir que la diferencia de posición entre los bloques de la izquierda y la derecha está dada por el potencial utilizado para vencer la barrera. Si aumentamos ese potencial, esos bloques se desplazan hasta que la zona marcada *x* desaparece, como se ve en la figura 109. Desaparece la posibilidad de paso directo de electrones a través de la barrera, y todavía se produce el enfrentamiento de la zona de conducción del material N con la zona prohibida del material P. Esto se traduce en que al aumentar la tensión aplicada al diodo la corriente

en lugar de seguir aumentando disminuye, zona AB de la curva en la figura 108, y eso ocurre hasta que el potencial aplicado a la barrera supera el valor necesario para impulsar los electrones a través de la misma, como en un diodo común. El punto B es el comienzo de la curva de conducción positiva o de corriente directa, y desde ahí la curva es igual a la de la derecha en la figura 107. El diodo túnel se ha convertido en un diodo común.

La zona de la curva comprendida entre A y B es una zona donde al aumentar la tensión se produce disminución de la corriente, como si se tratara de un circuito con resistencia negativa. Desde el punto de vista eléctrico, la resistencia negativa significa que al disminuir la tensión aumenta la corriente, o sea que el circuito, en lugar de tener pérdidas tiene una excedente de energía. De inmediato pensamos en la posibilidad de hacer un oscilador con un diodo túnel, porque en los circuitos resonantes la oscilación no se mantenía por las pérdidas, y había que realimentar. Con un diodo túnel, usado en la zona de resistencia negativa, no hará falta compensar la pérdida de energía, ya que el mismo

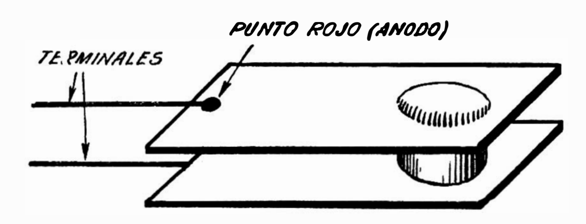


Fig. 110. — Aspecto constructivo de un diodo túnel de la R. C. A.

diodo suministra un excedente. Como vemos, estos diodos especiales tienen interesantes aplicaciones.

En la figura 110 podemos ver el aspecto constructivo de un diodo túnel de la R.C.A.; adquiere la forma de un cilindro de unos 2 a 3 mm de diámetro, colocado entre dos chapas que sirven de disipadores térmicos, y de las que salen los dos alambres terminales. En una de las chapas hay un punto rojo que marca el ánodo, o sea el terminal que debe conectarse al polo positivo de la pila, en los circuitos de aplicación. En los símbolos usuales, el ánodo es el triangulito y el cátodo la rayita apoyada en el vértice de aquél.

Aplicaciones del diodo túnel

Las características funcionales del diodo túnel lo hacen apto para muchas aplicaciones prácticas. Veamos, en primer término un oscilador de baja frecuencia, en la figura 111. Una pila se encarga de dar la polaridad negativa al cátodo, y la bobina completa el circuito oscilante, pues la amortiguación del circuito, fenómeno que fue

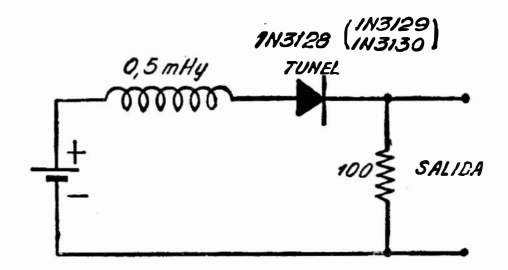


Fig. 111. — Circuito de un oscilador de baja frecuencia con diodo túnel.

estudiado en el capítulo 8, es compensada por el diodo túnel, al hacerlo trabajar en la zona de resistencia negativa de su característica. La onda de salida de este simple oscilador tiene forma diente de sierra, y su frecuencia está dada por la inductancia del bobinado y la capacidad del diodo. Se pueden emplear cualquiera de los diodos túnel de la R.C.A. tipos 1N3128, 3129 ó 3130.

Veamos ahora al diodo túnel en una función de oscilador de alta frecuencia, circuito de la figura 112. El diodo se conecta en serie con la bobina L, que es la clásica bobina tanque del circuito resonante. La inductancia de esta bobina se calcula según la frecuencia de la señal deseada; por ejemplo, para 20 Mc/s, tal bobina tendrá 8 vueltas, de alambre de un milímetro de diámetro, hechas sobre una forma de 6 mm de diámetro, ocupando 15 mm de longitud. Estando en funcionamiento la bobina absorbe energía durante los períodos de gran conducción del diodo, y la devuelve al circuito cuando esa conducción se reduce; de este modo se mantiene

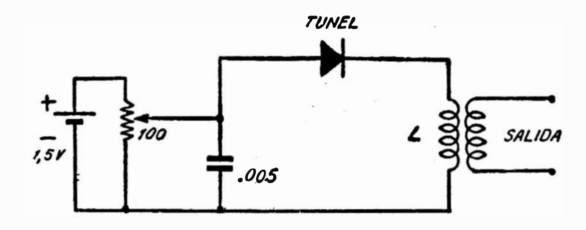


Fig. 112. — Circuito de un oscilador de alta frecuencia con diodo túnel.

la oscilación, y en el secundario se tiene una señal permanente, de la frecuencia indicada. Como la capacidad de la juntura en el diodo túnel tiene valores comprendidos entre 50 y 100 micro-microfarad, siendo siempre un dato de fá-

brica, podemos hacer los cálculos de resonancia con el gráfico de la figura 91. Para llevar al diodo al punto correcto de trabajo, la pila tiene una resistencia variable de 100 Ohm.

Otra aplicación práctica del diodo túnel es como amplificador de alta frecuencia, con un circuito como el que vemos en la figura 113.

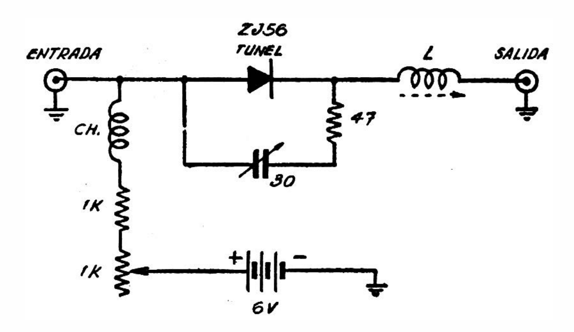


FIG. 113. — Amplificador de alta frecuencia con diodo túnel.

Vemos allí que el circuito sintonizado está formado por la bobina L, ajustable mediante un núcleo de hierro deslizante, y el conjunto de dos capacidades en paralelo; una, es la capacidad propia de la juntura del diodo túnel, y la otra es un capacitor variable de 30 micro-microfarad. La batería es, en este caso, de 6 Volt, pero puede ajustarse el punto de trabajo mediante una resistencia variable. El bobinado CH es un choque de R. F., o sea de alta inductancia, que impide que la señal se derive hacia masa a través de la batería. El conjunto fue diseñado para una frecuencia de la señal de 30 Mc/s.

Para el ajuste del circuito, la inductancia L se lleva a un valor mínimo, desplazando el núcleo de la bobina L hacia afuera; el capacitor variable se ajusta para lograr un máximo de amplificación; luego se ajusta el núcleo de la bobina para aumentar esa amplificación hasta un máximo, justamente un poco menos del punto en que el conjunto empieza a oscilar. Claro, el diodo túnel es un buen oscilador, y en la función de amplificador tiende a realimentarse en exceso, de modo que siempre que se lo tenga en funciones amplificadoras habrá que cuidar que no llegue a oscilar.

Hay otras aplicaciones de los diodos túnel, por ejemplo en las modernas computadoras electrónicas; para todos esos fines se fabrican cada vez más tipos de estos diodos, con frecuencias de trabajo que llegan ya en la actualidad a los millares de Megaciclos por segundo, cifras no alcanzadas por los transistores. No es difícil augurarles a estos minúsculos dispositivos un futuro promisor.

LOS FOTO-DIODOS

La mayoría de los lectores habrán oído hablar de las células fotoeléctricas o *fotocélulas*, que son dispositivos sensibles a la luz; se trata de ciertas sustancias que, al recibir un rayo luminoso, son capaces de generar una pequeña corriente eléctrica o modificar su propia resistencia eléctrica. De este modo, cuando se desea controlar un efecto cualquiera que debe ocurrir al aparecer la luz o también al desaparecer, puede aprovecharse esa curiosa propiedad. Son conocidas también las aplicaciones clásicas de las fotocélulas como abrepuertas, avisadores de intrusos, cine sonoro, etc. En todos los casos la luz permite disponer de una corriente variable, que se amplifica convenientemente y después se la utiliza para accionar un electroimán o suministrar un sonido, etc. El hecho concreto es que necesitamos un dispositivo que reaccione eléctricamente al recibir un rayo luminoso, y que también reaccione si ese rayo varía en luminosidad, color o cualquier otro de sus factores característicos.

Veamos ahora cómo puede hacerse un elemento fotosensible con un diodo PN. Tomemos un disco de cristal de germanio, ahuecado en forma esférica, de modo que en el centro nos quede un espesor de un décimo de milímetro y apoyemos en ese centro una espiga metálica que haga contacto, según lo muestra la figura 114. El germanio es tipo N, y tendrá, por con-

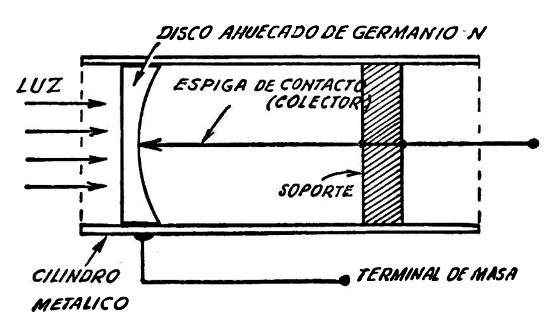


FIG. 114. — Principio constructivo del foto-diodo de contacto puntual.

siguiente electrones libres. El conjunto se coloca a presión dentro de un tubo metálico, que sirve de terminal de masa; el alambre o espiga se llama *colector* y es el otro terminal. Por la base abierta de la izquierda del cilindro puede entrar la luz.

Constructivamente, este conjunto es similar al diodo de contacto puntual que vimos en la figura 28, y por consiguiente, polarizado en sentido directo permitirá fácilmente el paso de la corriente y en sentido inverso dejará pasar una

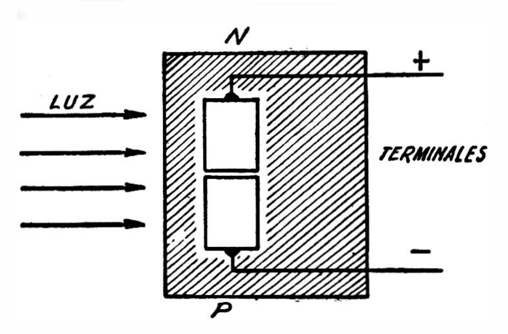


FIG. 115. — Principio constructivo del foto-diodo de juntura.

corriente muy pequeña, la corriente inversa; todo esto ya lo hemos estudiado.

Para el funcionamiento como *foto-diodo*, debemos polarizarlo en sentido inverso, es decir con el polo positivo de la pila conectado al cilindro metálico y el negativo al alambre colector. La corriente que circulará será muy pequeña. Pero al incidir un rayo de luz sobre el germanio, éste absorbe energía luminosa, muchos electrones rompen sus ligaduras y quedan en libertad y la polaridad positiva aplicada al germanio los impulsa a abandonar el disco por el alambre colector, o sea que se produce una corriente inversa mayor que la propia del diodo. La intensidad de esa corriente depende de la absorción de energía luminosa en el germanio, más precisamente, del flujo luminoso del rayo incidente.

Evidentemente, hemos construído una especie de fotocélula, pero con la ventaja de su mayor sensibilidad; en efecto, las fotocélulas generadoras de corriente dan unos pocos microamper de corriente, mientras que el fotodiodo suministra corrientes del orden de los miliamperes, lo que permite ahorrar el amplificador que era un elemento imprescindible en las fotocélulas.

El tipo descripto en la figura 114 puede llamarse de contacto puntual, y la teoría un poco más desarrollada del contacto puntual la veremos para los transistores de ese tipo en el capítulo siguiente. Pero también pueden hacerse fotodiodos de juntura; la figura 115 nos muestra un modelo, que consiste en una juntura PN dentro de un bloque aislante y transparente, para permitir a la luz llegar a la juntura. Los dos terminales corresponden a los contactos de salida, y el polo positivo de la pila debe conectarse al terminal que corresponde al germanio tipo N, para tener la polarización inversa que se ha estipulado.

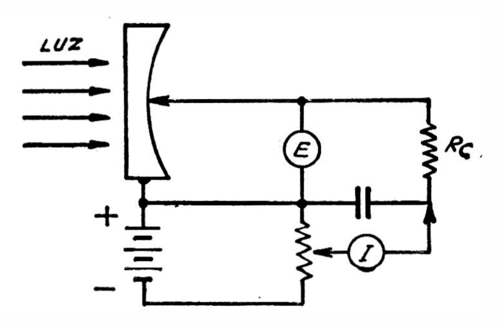


FIG. 116. — Circuito para tomar las características de un foto-diodo.

Veamos ahora las características de corriente de un fotodiodo. El circuito para tomar los valores y trazar las curvas se ve en la figura 116; el amperímetro que nos medirá la corriente inversa I se conecta en serie con la resistencia de carga R_c y el voltímetro que nos medirá la tensión que tenemos entre terminales del fotodiodo lo conectamos a sus bornes. Si no permitimos que incida luz, tendremos el punto de tensión y corriente cero en el gráfico de la figura 117. La curva hacia la zona de tensión y corriente positiva, parte derecha del gráfico, no nos interesa, pues es la corriente directa, y en tal caso el fotodiodo funciona como un diodo común.

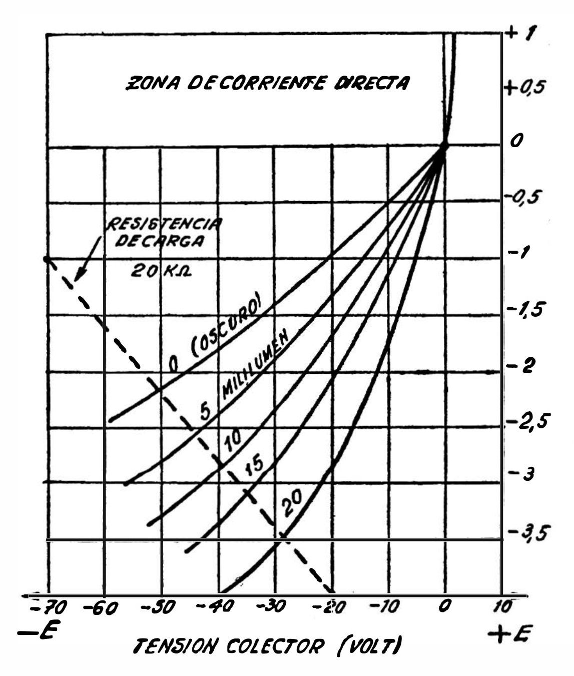


FIG. 117. — Curvas características de un foto-diodo. La escala vertical da las corrientes de colector en mA.

A partir del punto 0, sin luz incidente, variamos la tensión aplicada mediante la resistencia variable y obtendremos distintos valores de la corriente, que nos dan la curva de intensidad luminosa cero, o sea en condiciones de trabajo *oscuro*. Si aplicamos rayos de luz de diferente

intensidad, la cual la medimos en mililumen, que es una medida del flujo luminoso, tendremos distintas curvas. A medida que incide más luz en el fotodiodo, mayor será la corriente para un dado valor de la tensión de la batería. Por ejemplo, para una tensión de —30 Volt, la corriente será de 1,8 mA si la luz tiene 5 mililumen, de 2,3 mA para 10 mililumen, y así siguiendo. Obsérvese, de paso, que la resistencia de carga R_c queda representada en el gráfico, haciendo el cociente entre la tensión 20 V y la corriente 0,001 A, que resulta 20.000 Ohm.

Es de hacer notar que la sensibilidad luminosa del fotodiodo es mayor en la parte central del disco de germanio, por lo que, para evitar que la luz se distribuya en toda la superficie del disco, se coloca en el extremo del cilindro una lente concentradora, que hace incidir a la luz en el centro del disco.

OTROS DIODOS ESPECIALES

La técnica moderna produce otras clases de diodos para diversos fines, todos los cuales basan su funcionamiento en las características ya conocidas de los diodos comunes o especiales tratados anteriormente. Podemos mencionar los *varicap*, los diodos *asimétricos*, los *multicapa*, etc. Para las explicaciones que siguen nos basaremos en lo que se ha explicado en capítulos anteriores, para evitar repeticiones de la teoría, de manera que en cada caso recomendaremos al lector la revisión del tema pertinente.

El diodo varicap

Recordemos el estado de cargas en una juntura PN, cosa que vimos en las figuras 14, 15, 17, 18, etc. Observemos especialmente la figura 14, que nos muestra el enfrentamiento de cargas eléctricas de los dos signos, y luego la figura 18, que demuestra cómo puede romperse en parte la barrera de potencial y alterar ese estado de cargas mediante un potencial externo. Recordemos también que tal estado de cargas modificado dependía del potencial que se aplicara, de modo que a potencial variable también será variable el equilibrio de las cargas de ambos signos enfrentadas en la juntura.

Si recordamos ahora lo que estudiamos hace algunos años en Electrostática, referente al capacitor, y pensamos en la figura de las dos placas enfrentadas, con cargas eléctricas de ambos signos, uno para cada placa, tendremos que convenir que la juntura PN se parece mucho a un capacitor. En efecto, un diodo tiene capacidad propia, ya lo dijimos al hablar del diodo túnel. Pero en un capacitor, para variar la capacidad debemos alterar la distancia entre chapas, y en un diodo no podemos variar esa distancia, ya que debemos mantener arrimados los dos cristales de germanio. Lo que ocurre es que la distancia entre las cargas de signo contrario es ficticia, es la misma barrera de potencial la que la provoca. Y todavía hay más: si variamos la tensión aplicada al diodo, se altera el potencial de la barrera y también el estado de cargas, o sea el espesor de la capa ficticia separadora. Es como si alteráramos el espesor de la sustancia que hay entre las chapas de un capacitor.

Bueno, la industria construye diodos en los que se aprovecha al máximo esa propiedad de

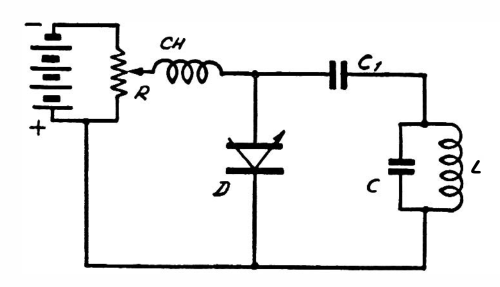


FIG. 118. — Aplicación de un diodo varicap a un circuito sintonizado.

alterar la capacidad propia del diodo ante variaciones de la tensión entre terminales. Los ha denominado *varicap*, y permiten obtener variaciones de capacidad en relación 1:3, que ya es una buena variación. Como el estado de cargas es tal que sin tensión externa hay un máximo de cargas enfrentadas, la capacidad del diodo será máxima sin tensión aplicada y disminuirá a medida que aplicamos tensiones crecientes.

Veamos en la figura 118 una de las aplicaciones de estos interesantes dispositivos. Se trata de un sintonizador por variación de tensión. El circuito sintonizado LC es fijo, pero en paralelo con el mismo hay un diodo varicap *D*. La batería o fuente de tensión está derivada sobre una resistencia variable R, que permite aplicar al diodo tensiones inversas desde cero hasta el máximo de la fuente. Y deben ser inversas porque no se busca la conducción de corriente directa a través del diodo sino el efecto capacitivo del mismo. Al estar el varicap en paralelo con el circuito sintonizado, la capacidad total del mismo, suma de la de C y del diodo, es variable, y altera la frecuencia de sintonía entre dos límites. El capacitor C_1 tiene por misión impedir la descarga de la batería sobre la bobina, y se le da una capacidad grande en relación con C para que no intervenga en la resonancia. El bo-

binado CH es un choque de R. F., o sea de alta inductancia, para impedir que la señal de alta frecuencia del circuito sintonizado se descargue en la batería. Como ésta, hay otras aplicaciones del varicap en circuitos donde se necesita una variación de capacidad que responda a variaciones de tensión.

Diodos asimétricos

Una fábrica ha ideado un tipo de diodo Zener, del cual nos hemos ocupado al comienzo de este capítulo, en el cual los dos cristales son diferentes, uno de reducido espesor, en un ex-

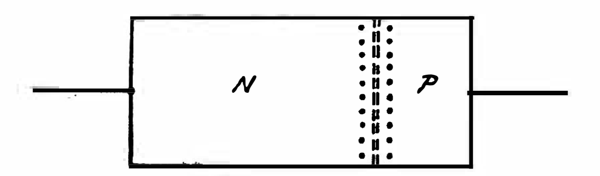


Fig. 119. — Principio del diodo asimétrico.

tremo y otro normal en el otro extremo, según lo muestra la figura 119. Con tensiones inversas bajas, el funcionamiento es similar al de cualquier diodo, sea común o Zener. Pero si aplicamos tensiones elevadas, las cargas eléctricas que se acumulan en el diodo de espesor reducido alcanzan el terminal de salida por estar precisamente muy cerca de la misma, y se establece en forma brusca la corriente elevada que es característica del diodo. Las aplicaciones de este tipo de diodo son las mismas que el tipo túnel, es decir en circuitos reguladores de tensión como principal utilización.

Diodos multicapas

Otro tipo de diodo especial es uno que en lugar de tener dos cristales adosados, incluye entre ellos dos capas adicionales, una N arrimada al cristal P y una P arrimada al cristal N. En funcionamiento con baja tensión, el diodo presenta alta resistencia, pero alcanzada la tensión de ruptura, el valor de dicha resistencia se torna muy bajo, permitiendo el paso de corrientes elevadas. Luego, si se dispone de una tensión variable, que fluctúe entre cifras altas y bajas, el diodo multicapa se puede usar como dispositivo de conmutación en multivibradores, osciladores, etc. Este tipo de diodo no está aún muy generalizado, pero se lo ha mencionado para dar una idea de su existencia. Hay todavía otros tipos, pero siguen apareciendo, y dejamos el tema para las revistas técnicas de actualidad.

Día 10

Mencionamos al comenzar el día anterior que además de los diodos comunes y los transistores comunes o de juntura, había algunos tipos que, si bien no están tan generalizados en el uso corriente, sus aplicaciones eran de gran interés, y por lo tanto debían ser estudiados. En esa oportunidad el tema desarrollado correspondió a los diodos especiales, y dejamos el de los transistores especiales para la presente jornada.

Bien, el caso es que entre los transistores que no pertenecen a los clásicos modelos de juntura y con tres electrodos, hay muchos tipos, algunos de aplicación difundida, otros de usos muy especiales, y otros que fueron precursores de los actuales; en este último caso están los transistores de contacto puntual, que pueden considerarse como antecesores de los de juntura y que han sido prácticamente reemplazados por éstos, debido a las dificultades de fabricación en producción seriada. No obstante su existencia anterior a los que estudiamos en capítulos anteriores, la explicación del funcionamiento resulta más cómoda si se hace después de conocer el que corresponde a los de juntura. Por esta razón, nos ocuparemos de ellos ahora, además de describir otros tipos, como los fototransistores, los de cuatro electrodos, etc. Con estas aclaraciones podemos abocarnos al tema elegido.

TRANSISTORES ESPECIALES

EL TRANSISTOR DE CONTACTO PUNTUAL

En realidad, el tema a tratar no es nuevo, pues en las figuras 28 y 114 tenemos anticipos del mismo; en efecto, los diodos de germanio y los fotodiodos son de contacto puntual, y fueron explicados oportunamente, pese a que la teoría de la formación de capas electrizadas no ha sido todavía tratada. Recordemos que al ocuparnos de los fotodiodos ofrecimos un anticipo, al decir que al tratar los transistores de contacto puntual íbamos a dar tales explicaciones.

Con esta aclaración previa que nos coloca un poco más cerca de estos transistores, observemos la figura 120. Vemos una pastilla de cristal de germanio tipo N sobre la que apoya un punzón de bronce haciendo presión sobre el contacto. Tal punzón debe tener elasticidad para que haga buena presión, y con tal objeto se le da una curva en S en su parte central. El cristal de germanio tiene impurezas de arsénico, o sea que hay un cierto número de electrones libres en su masa. Ya tenemos un diodo de germanio, siendo el punzón uno de los terminales y un contacto que se toma en la otra cara del cristal el otro terminal. Sabemos que en un diodo de este tipo el polo negativo debe conectarse al germanio y el positivo al punzón o contacto puntual, para obtener corriente directa y baja resistencia a través del diodo.

Pero si hacemos pasar una fuerte corriente en sentido contrario, forzando la resistencia alta

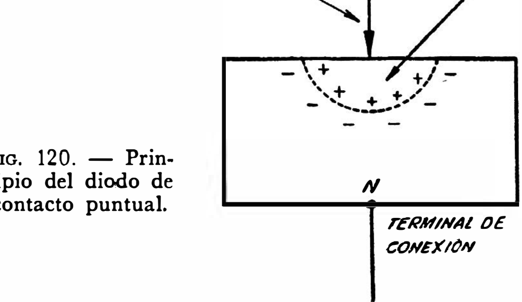


Fig. 120. — Principio del diodo de contacto puntual.

que opone el diodo en ese sentido, la brusca entrada de electrones por el contacto puntual deja en sus vecindades una cierta cantidad de átomos incompletos, o sea cargas positivas. Es decir que en la masa de germanio vecina al contacto puntual se forma cristal tipo P. Tenemos

así dentro de la pastilla de germanio dos zonas, una tipo N y otra tipo P, con una separación definida que se comporta como una juntura PN, cuyo principio y particularidades se ha estudiado alrededor de las figuras 14 a 18. Claro que no podemos separar al diodo en sus dos placas P y N, como si se tratara de un diodo de juntura.

Veamos ahora cómo se construye un transistor de contacto puntual, basado en dos diodos del mismo tipo. La figura 121 nos muestra un esquema de la pastilla de germanio tipo N sobre la cual se apoyan dos punzones de bronce para establecer dos contactos puntuales; cada uno debe hacer presión sobre la superficie del cristal y asegurar el contacto que permitirá el paso de cargas eléctricas. En la realidad los dos punzones están muy cerca uno del otro en la punta de contacto, a unas 5 centésimas de milímetro. Debajo de la pastilla hay una placa metálica que sirve de contacto para conectar la pastilla al circuito.

Para formar eléctricamente al transistor deben hacerse pasar fuertes corrientes desde cada punzón hacia la pastilla, y lograr de esta manera la liberación de cargas positivas en zonas circundantes con los puntos de contacto; así tenemos las zonas de germanio tipo P, marcadas en la figura 121 con cargas positivas. Tenemos entonces dos zonas tipo P dentro de la masa de germanio tipo N, y esas zonas están separadas del resto de la pastilla por verdaderas junturas, sólo

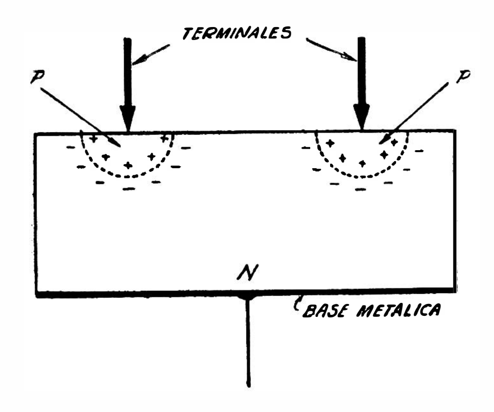


Fig. 121. — Principio del transistor de contacto puntual.

que tales junturas no son planas y bien definidas, sino que adoptan la forma de casquetes de esfera de dimensiones microscópicas.

Una vez formado el transistor, estamos en presencia de un elemento cuyo comportamiento es similar al de un transistor de juntura, y por consiguiente son válidas todas las explicaciones dadas en el capítulo 3. La manera de conectarlo se muestra en la figura 122, y la pastilla se usa como *base*, uno de los punzones, el que lleva polaridad positiva será el *emisor* y el otro, que se conecta a un polo negativo, es el *colector*.

Constructivamente no se ha realizado con éxito el transistor de contacto puntual tipo NPN,

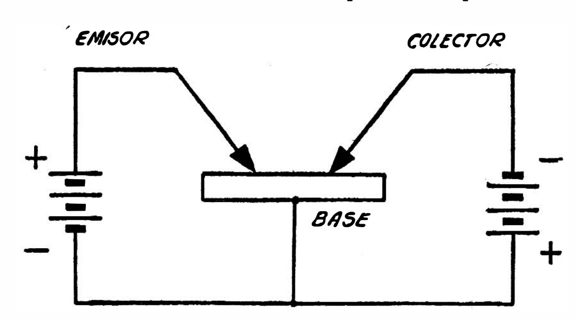


Fig. 122. — Polarizaciones en el transistor de contacto puntual.

para el cual la pastilla tendría que ser de tipo P, por tener el cristal tipo N mejores propiedades de estabilidad.

Un estudio comparativo entre los transistores de juntura y los de contacto puntual revela que los primeros tienen mayor resistencia de colector que los segundos, por lo que, pese a que el factor de ganancia es algo menor en cifras de corriente, no lo es en cifras de tensión o de potencia. Además, la baja superficie de contacto en la juntura ficticia en el de contacto puntual reduce la capacidad de manejar potencia; tan es así que mientras sólo existían los de contacto puntual no se sobrepasaron potencias del orden del centenar de miliwatt, mientras que con los de juntura se logran fácilmente decenas de watt. A todo ello se agrega que los transistores de contacto puntual dan tres veces más ruidos que los de juntura, y que la uniformidad de fabricación es muy superior en estos últimos. Todo lo dicho justifica que se prefieran los de juntura para las aplicaciones prácticas de uso corriente.

EL FOTOTRANSISTOR

En el capítulo anterior hemos descripto el fotodiodo, en el cual una pastilla de germanio recibía el rayo luminoso y alteraba sus cargas eléctricas. Se construyen también fototransistores, sobre la base de un tipo NPN, en el cual la pastilla central tipo P es fotosensible. La figura 123 muestra el principio de funcionamiento; vemos que se aplica una tensión entre los dos extremos, de tal modo que la pastilla superior es el colector y la inferior es el emisor, pero la base, pastilla central, no lleva conexión alguna. En el cir-

cuito este transistor se parece más a un diodo, pero la base actúa en cuanto recibe luz. Mientras eso no ocurre, es decir, estando la base sin polarización eléctrica, la barrera que ella significa no permite el paso de corriente a través del transistor.

Cuando incide un rayo luminoso en la pastilla central, se forman cargas positivas o lagunas en suficiente cantidad como para que los electrones del emisor salten la barrera y se establezca una corriente de algunos miliamper. En la práctica se busca dar a la sección P el mínimo espesor y a las secciones N la mínima resistencia, para conseguir una corriente mayor a través del circuito y poder accionar relays y otros dispositivos.

La figura 124 nos muestra un circuito simple de aplicación de un fototransistor para accionar un relay de cierre. Una batería de 3 Volt se conecta con la polaridad adecuada y la corriente sólo circulará cuando la base sea activada por el

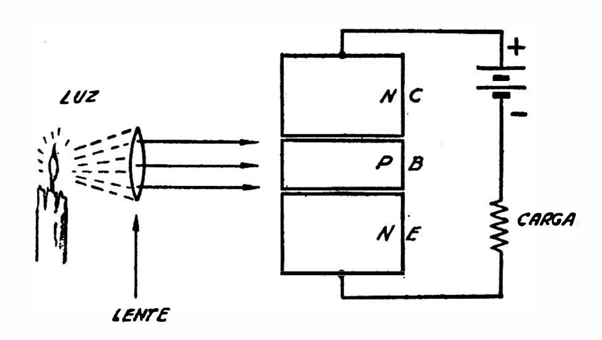


Fig. 123. — Principio del fototransistor.

rayo de luz. Este dispositivo sirve para un abrepuertas si el relay cierra el circuito de un electroimán; para un avisador de intrusos, si el relay se reemplaza por una campanilla que funciona cuando se corta la corriente, o sea cuando el intruso interrumpe el rayo luminoso al pasar entre la fuente luminosa y el fototransistor, etc.

Veamos ahora un fototransistor que ha hecho su aparición en plaza, el OCP70, de FAPESA, cuyas características se apoyan en parte en la descripción anterior. La figura 125 nos muestra el aspecto constructivo, con indicación de sus dimensiones en milímetros; se hace la aclaración de que un punto rojo indica el colector, y que la dirección preferida para la incidencia del rayo luminoso es la del plano perpendicular a los conductores, estos últimos colocados paralelamente a la cara donde está el código indicado. Nótese que en este caso la base lleva conexión eléctrica.

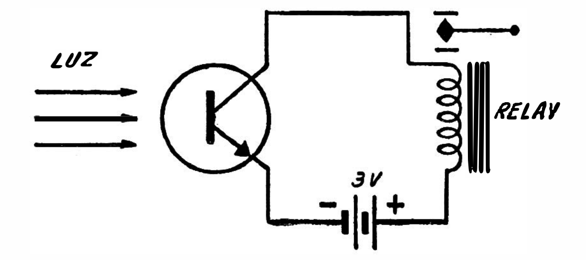


Fig. 124. — Aplicación de un fototransistor para accionar un relay.

Las curvas características típicas de trabajo dan la corriente de colector en función de la tensión en el mismo electrodo, para distintas intensidades de iluminación en la cara sensible del fototransistor. De todas las curvas que se obtienen, la figura 126 muestra las correspondientes a tensión nula en la base, y temperatura ambiente 25°C. Es importante destacar que la temperatura ambiente influye de una manera decisiva en las condiciones de trabajo de este fototransistor, porque la sensibilidad a la luz depende de dicha temperatura; por ese motivo, siempre se dan las curvas características para una temperatura dada. Las intensidades de iluminación se dan, en este gráfico, en la unidad *lux*, porque es la cifra que marcan los luxómetros, aparatos que se emplean para medir la intensidad de iluminación sobre la superficie en que ellos están colocados.

La fábrica suministra la información de sus cifras máximas y normales. De entre ellas, destacamos las siguientes:

Temperatura máxima tolerada .	65 °C
Tensión máxima de colector . . .	15 V
Corriente máxima de colector . .	20 mA
Tensión y corriente de trabajo, ver Fig. 126	

Veamos ahora un circuito de utilización de este fototransistor, que propone la misma fábrica. La figura 127 da el esquema y los valores respectivos. Los bornes a usar son los marcados salida y masa, este último es además el polo

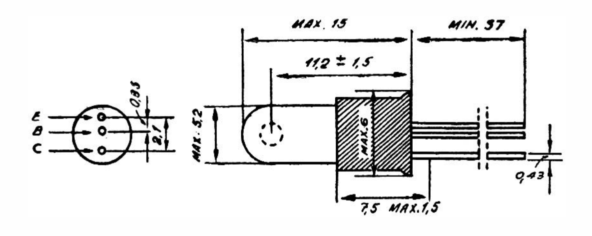


Fig. 125. — Aspecto constructivo de un fototransistor de la Philips.

positivo de la fuente. Se usa una tensión de 12 Volt y los valores son válidos para esa cifra. Hay dos valores que dependen de la frecuencia y son la impedancia de la bobina L, que debe ser por lo menos de 20 Kiloohm, y la capacidad del capacitor C, que debe tener una impedancia que sea como máxima 10 veces menor que la resistencia de emisor a la frecuencia de trabajo. En la figura, por consiguiente no se dan esos dos valores.

El fototransistor mencionado, a título ilustrativo, tiene otras aplicaciones, las cuales deben diseñarse de acuerdo con la sensibilidad a la luz que acusa en sus características. Si la incidencia

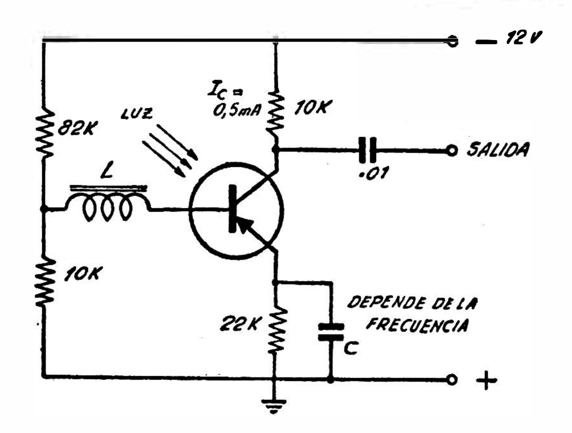


FIG. 127. — Circuito de aplicación del fototransistor de la figura 125.

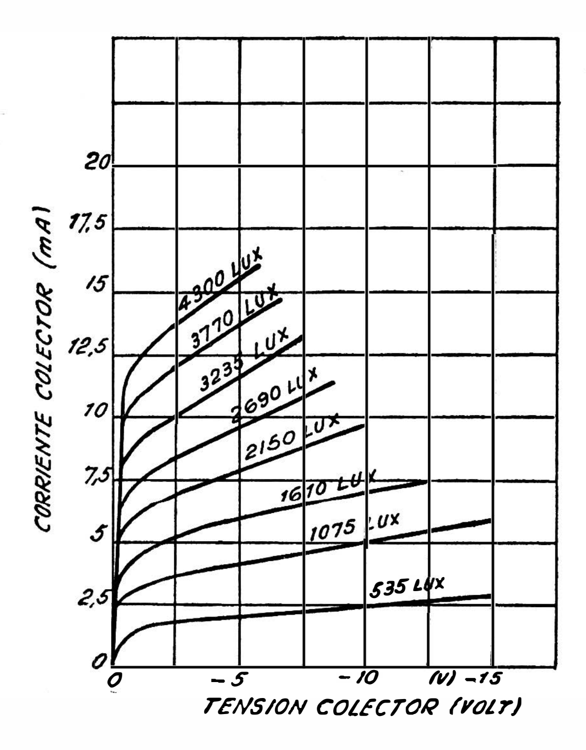


FIG. 126. — Características del fototransistor de la figura 125.

de la luz no es perpendicular al plano que se ha indicado, habrá que afectarla de un coeficiente de reducción; la fábrica suministra también información sobre las variaciones de fotosensibilidad de acuerdo con el ángulo de incidencia de la luz.

En la figura 128 vemos otro tipo de fototransistor en el cual las dos secciones N extremas son fotosensibles, mientras que la central, tipo P, es opaca, o está envuelta por un tubo metálico. Al incidir luz sobre el emisor, éste se activa y aparece una corriente circulando por la carga, y al incidir luz sobre el colector, también aparece corriente en la carga, pero con sentido contrario a la otra. Los nombres de emisor y colector que se han colocado son ficticios, ya que no habiendo fuente externa, puesto que el conjunto no la necesita, no se podría determinar cuál es uno y cuál el otro. La diferencia de comportamiento está en que la juntura inferior es NP y la superior es PN, y en tal caso se trataría de dos diodos con conexión inversa el uno respecto del otro. La aplicación de este tipo de fototransistor está en controles automáticos de iluminación, por ejemplo. En efecto, si sometemos la juntura superior a la luz del ambiente, que debe ser controlada, y la juntura inferior a la luz de una lámpara patrón, ajustada, los dos rayos luminosos producen dos corrientes iguales y de sentido contrario cuando los flujos luminosos incidentes son iguales. En ese caso las dos corrientes se anulan y por la carga no circula corriente alguna, pero si una de las corrientes es diferente a la otra, hay un residuo que circula por la carga y puede hacer actuar a un dispositivo de regulación luminosa en el ambiente.

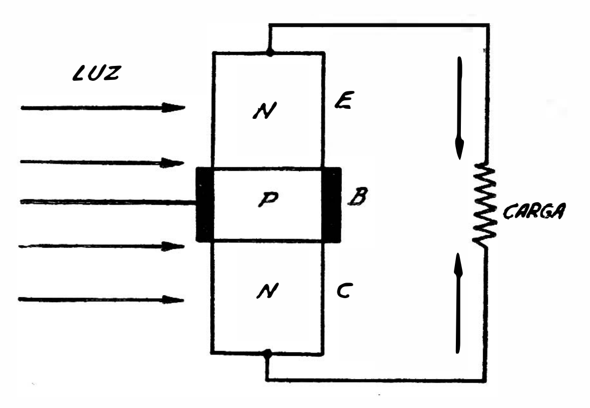


FIG. 128. — Otro tipo de fototransistor.

EL TRANSISTOR TETRODO

El transistor de cuatro terminales o tetrodo nació como una de las soluciones para aumentar la frecuencia límite de trabajo en los transistores. Esa frecuencia queda limitada por la superficie de la base, que da al transistor alta capacidad propia. Una de las soluciones fue la de agregar a la base de un transistor NPN, ver figura 129, un terminal de conexión en la cara opuesta del que tiene comunmente. Entre los dos terminales de la base se conecta una batería cuyo polo positivo va al terminal común de base y el negativo al terminal auxiliar. Tal tensión es grande, con respecto a la tensión que hay entre base y emisor. Por ejemplo, si esta última es del orden de 0,1 a 0,2 Volt, la tensión auxiliar es de 6 Volt.

Veamos lo que ocurre dentro de la base, figura 130; el potencial negativo está en la parte superior y el positivo en la inferior, luego hay un potencial transversal en la base que es más negativo arriba y va siendo menos negativo a medida que descendemos dentro de la base. Todo esto ocurre independientemente del pequeño potencial positivo que debe tener la base con respecto al emisor, y que lo da la batería de la izquierda en la figura 129.

La pregunta lógica es: ¿qué harán los electrones que forman la corriente de emisor y que tienen que atravesar la base, favorecidos por el potencial positivo que allí encuentran? Claro, para que los electrones, cargas negativas, puedan atravesar la base se requiere que ella no tenga potencial negativo, pero, como vemos en la figura 130, en la parte superior el potencial negativo es fuerte, y va disminuyendo a medida que descendemos verticalmente. Cerca de la parte inferior se va anulando el potencial negativo transversal y prevalece el potencial positivo de la batería de emisor, de modo que el flujo de electrones que constituye la corriente de emisor a través de la base se deforma, y sólo pasa por la parte inferior de esta última.

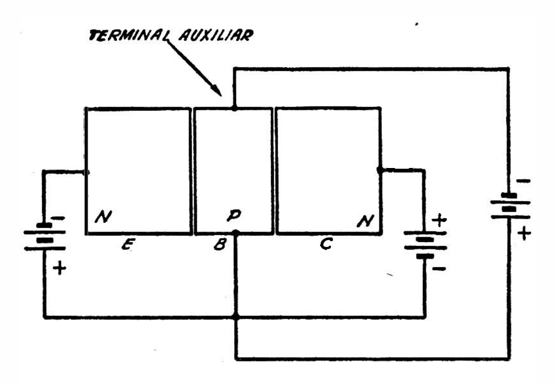


FIG. 129. — El transistor de cuatro electrodos o tetrodo.

Se consiguen de esta manera dos efectos que tienden a mejorar el funcionamiento del transistor en alta frecuencia. Uno es la reducción de la resistencia de la base, por ser grande el flujo de corriente que atraviesa una parte reducida de la misma; en segundo lugar, esa parte útil de la base que trabaja presenta menor superficie de contacto en las junturas y con ello se reduce la capacidad propia del transistor. Claro que hay que pagar un precio por esos dos factores favorables, y es que al reducirse la sección transversal útil de la base se limita la intensidad de corriente que puede atravesar el transistor, pero este detalle nunca es importante en altas frecuencias, ya que se trabaja con corrientes reducidas.

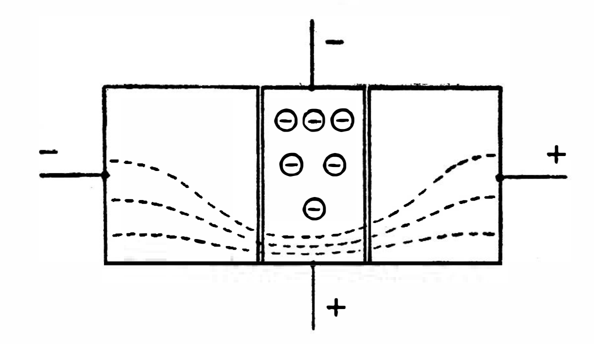


FIG. 130. — Distribución del potencial en el transistor tetrodo.

Existen algunos circuitos de utilización de los transistores de cuatro electrodos, la mayoría de ellos en aplicaciones de R. F., pero su difusión no ha sido grande hasta el presente y no justifica que dediquemos mayor tiempo al estudio de estos dispositivos, ya que no los encontraremos en los circuitos prácticos que trataremos más adelante.

El tetrodo PNPN

Un tipo de transistor de cuatro electrodos es el que tiene cuatro cristales, dos extremos de distinta polaridad y los dos centrales, también de diferente polaridad, como lo muestra la figura 131. Obsérvese en el circuito de conexiones las polaridades que se dan a cada electrodo, y que lo que sería la segunda base, pastilla central de la derecha, lleva una polaridad igual a la del colector, que se da a través de la resistencia R_2. De este modo, las cosas ocurren como si los tres primeros electrodos, a partir de la izquierda, formaran un transistor PNP común. El primer

electrodo P es el emisor, y lleva polaridad negativa; sigue la base a masa y después el colector, pastilla P que recibe potencial negativo a través de R_2. Pero también, si partimos desde la derecha, tenemos otro transistor, con el emisor en la última pastilla N, la base en el centro y el colector a masa, con polaridad positiva; es un transistor NPN.

De la combinación de los dos transistores, que son, por supuesto, ficticios, resulta un mayor coeficiente de amplificación de corriente y algunas otras ventajas. Sus aplicaciones están especialmente en la electrónica moderna, en el campo de los disparadores, computadores, etc., y por lo tanto escapan al propósito de este libro. Se los ha mencionado para mostrar una de las tantas novedades que surgen constantemente en el campo de los semiconductores, cuya investigación continúa incansablemente.

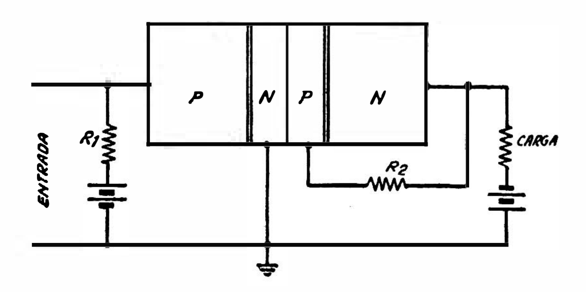


Fig. 131. — El tetrodo PNPN.

El transistor PNIP

Dentro de los transistores de cuatro electrodos puede involucrarse este tipo, aunque el electrodo adicional no sea propiamente tal cosa. Se trata de un transistor común, en el cual la base se construye con una envoltura de germanio puro, según lo indica la figura 132. Tal capa está libre de átomos incompletos, sean positivos o negativos, y en consecuencia se aplica la denominación de germanio intrínseco, usándose la inicial de esta segunda palabra para calificar al modelo, intercalándola en la denominación [PN(I)P].

Veamos cuales son las características que se obtienen con tal innovación constructiva. Recordemos que uno de los inconvenientes de los transistores, en lo que respecta al límite de la frecuencia de trabajo, era el tiempo de tránsito de los electrones a través de la base. Esta última no se puede hacer muy delgada porque se reduce la tensión que puede aplicársele. La capa de germanio puro que separa la base de los otros electrodos permite reducir el espesor de la misma, y con ello aumentar la frecuencia límite.

Otro de los inconvenientes del transistor común era la resistencia eléctrica de la base, ya que ella interviene en los circuitos de entrada y de salida, y siendo relativamente alta introduce cierta realimentación en los circuitos. Al ser la base de menor espesor en el tipo PNIP, la resistencia de base se reduce considerablemente.

Y todavía hay que mencionar la capacidad propia del transistor, que está dada por las superficies de las junturas y el espesor de las mismas. Para reducir esa capacidad, y con ello lograr aumentar la frecuencia límite, ya que a menor capacidad se pueden manejar sin pérdidas mayores frecuencias, hay que reducir la superficie de las junturas. En el transistor PNIP se logra esto parcialmente disminuyendo la superficie de la juntura emisor-base. Además, la presencia de la capa de germanio puro en ambas junturas reduce la capacidad propia por aumento de espesor de la capa que separa las chapas del capacitor ficticio.

En resumen, el transistor que hemos descripto, diseñado por la Bell Telephone Lab., ha permitido aumentar mucho la frecuencia límite, aunque hay que advertir que la fabricación moderna de transistores ha alcanzado grandes mejoras en ese sentido sin necesidad de acudir a diseños complicados, con el simple expediente de cambiar los métodos constructivos. La descripción del transistor PNIP, que tiene también su complementario, el NPIN, se ha hecho con fines ilustrativos.

Y también debemos decir que hay otros modelos de transistores tetrodos, como el de dos emisores, el tiratrón, y otros. Todos ellos pueden

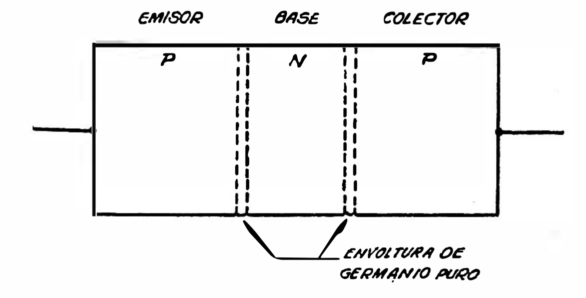


Fig. 132. — El transistor PNIP.

ser considerados novedosos en ciertos aspectos constructivos, pero la descripción detallada carecería de objeto en este libro, que está destinado específicamente a enseñar el funcionamiento y aplicación de los diodos y transistores comunes.

Día 11

Después de varias jornadas hemos llegado a conocer el funcionamiento de los semiconductores y sus aplicaciones prácticas, si bien en forma aislada, sin analizar circuitos completos. Bastaría repasar con la mirada los diez capítulos anteriores para darnos cuenta del esfuerzo realizado y de la cantidad de nuevos conocimientos que hemos adquirido. Pero es el momento de hacer un autoexamen, en el sentido de que, haciendo un balance sincero, no sigamos adelante si han quedado lagunas fundamentales. Es admisible que demos poca importancia a un modelo especial de transistor, por ejemplo alguno de los tratados en el capítulo 10, pero no podemos pasar por alto ninguno de los temas básicos de funcionamiento de transistores y diodos. Si no tenemos seguridad sobre las polaridades, las impedancias en cada electrodo, la manera cómo amplifica mejor, etc., no debemos seguir adelante. Hay que repasar la parte no asimilada a la perfección. Los capítulos que siguen al presente dan por sabidas todas esas cosas y esto es una condición ineludible.

Pero, al margen de tal problema, hemos considerado conveniente la inclusión del tema de esta jornada: los accesorios. En realidad, para los que saben radio, tales implementos resultarán conocidos, pero tienen diferencias constructivas con los accesorios de equipos a válvulas y deben conocerse en detalle. Tal la razón que justifica nuestro tema de hoy, al que nos abocaremos de inmediato.

ACCESORIOS PARA TRANSISTORES

Cualquier equipo que tenga transistores no puede funcionar si no se agregan otros elementos; como consideramos más importantes a los transistores por estar ocupándonos de ellos, todas las demás cosas que encontramos en el equipo son accesorios. No debe interpretarse esta aseveración como que se quiere restar importancia a un parlante, a un transformador, etc., por ejemplo, pero estos elementos serían fundamentales en un libro sobre dispositivos electroacústicos, en el cual, a su vez, las válvulas o los transistores serían accesorios.

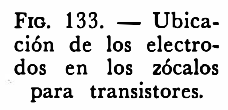
Hecha la aclaración precedente, cabe agregar que uno o varios transistores solos, no prestan utilidad alguna. Hay que asociarlos a un circuito que contiene una gran cantidad de componentes, como ser resistencias, capacitores, bobinas, transformadores, parlante y una serie de accesorios de soporte, conexión y maniobra. Todos los elementos enumerados son conocidos por la mayoría de los lectores que han estudiado Radio en general, pero hay diferencias entre los tipos empleados en equipos a válvulas y los que conoceremos en aparatos a transistores, o, como se dice frecuentemente hoy día, en equipos *transistorizados*. Esas diferencias son, en algunos casos, de tamaño únicamente, ya que siendo los transistores mucho más pequeños que las válvulas, permiten construir equipos de menores dimensiones; otras veces las diferencias alcanzan a los principios constructivos. De algunas de tales características nos ocuparemos en esta oportunidad y de las restantes hablaremos al describir los equipos en los capítulos próximos.

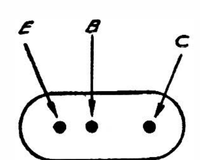
Zócalos para transistores

El transistor debe ser conectado al circuito, es decir que, cada uno de sus electrodos, debe unirse a un punto determinado de conexión. No es lógico soldar directamente el terminal de alambre que sale del cuerpo del transistor, uno por cada electrodo, por dos razones. La primera es que cuando se desea cambiar el transistor habría que desoldar la conexión; la segunda es que debe evitarse a toda costa que el cuerpo del transistor reciba calor en exceso, y la soldadura directa de sus terminales podría dañarlo.

Es entonces comprensible que se empleen zócalos de conexión, igual que para las válvulas

electrónicas, sólo que son más simples y pequeños. Tal como en el caso de aquellas, hay que establecer un código para localizar en el zócalo los electrodos del transistor. Veamos en primer término la figura 133 que muestra la ubicación de los tres terminales en tres diferentes tipos de


FIG. 133. — Ubicación de los electrodos en los zócalos para transistores.



transistores; sabemos que las letras equivalen a: E = emisor, B = base, y C = colector. Obsérvese que el terminal de la base se conoce por estar cerca del de emisor o por estar en el vértice de un triángulo isósceles. También suele marcarse el terminal de colector con un punto

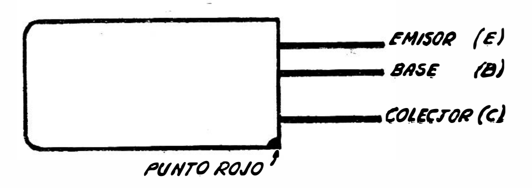


FIG. 134. — Indicación de los electrodos en un transistor visto de perfil.

rojo. Las dos primeras figuras tienen la única diferencia de que los transistores son a veces achatados y otras cilindros perfectos.

Si tomamos el transistor de perfil, como lo muestra la figura 134, vemos claramente que los alambres no están distanciados regularmente, sino que los de emisor y de base están un poco más arrimados, precisamente con fines de identificación; el punto rojo, si existe, marca la posición del terminal del colector. Hay transistores

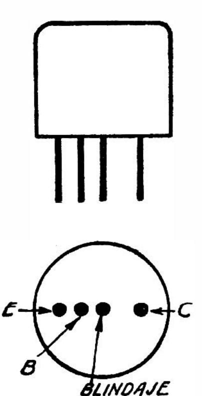


FIG. 135. — Conexiones de un transistor con blindaje metálico.

que tienen una envoltura metálica, la que debe conectarse a masa para que sirva de blindaje. En ese caso hay un alambre más, tal como lo muestra la figura 135 y la posición relativa de los cuatro alambres se ve en el dibujito inferior de la misma figura.

Los transistores de potencia tienen formas completamente distintas a los anteriores. Suelen tener un perno roscado para asegurarlos a una placa de soporte. La figura 136 muestra un modelo común, en el cual el colector está conectado al perno central roscado y la base y el emisor a dos alambres laterales, tal como podemos comprobarlo en dicha figura. En general, los transistores de potencia tienen formas muy diversas, según la fábrica de origen; muchos de ellos deben llevar disipadores térmicos, uno de cuyos modelos puede verse en la figura 38, volviendo unas cuantas páginas hacia atrás.

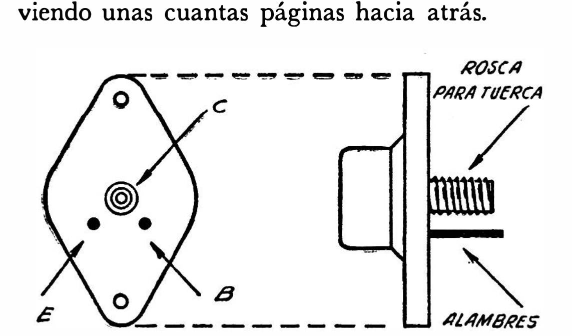


FIG. 136. — Indicación de los electrodos en un tipo de transistor de potencia.

Los zócalos para conectar los transistores al circuito son pequeños trozos de material plástico aislante, con tres orificios para introducir los alambres de conexión. La figura 137 muestra uno de los modelos más empleados, que se sujeta al chasis mediante una arandela elástica. El zócalo está provisto de tres terminales para soldar, que se emplean para conectar los tres puntos: E, B y C, a los demás elementos. Cuando están terminadas todas las conexiones, se colocan los transistores en sus zócalos, pudiendo cortarse los alambres de aquellos si son excesivamente largos. Hay otros modelos de zócalos que se sujetan al chasis general mediante tornillos. Hay otros mo-

delos, como el de la firma "Decorvisión", que consiste en un chasis con los zócalos ya colocados (ver Fig. 138) a los cuales se sueldan los tres terminales de cada transistor. Obsérvese

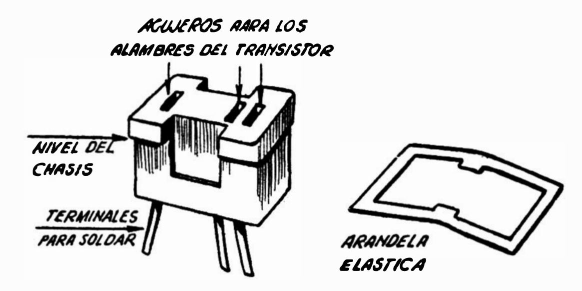


FIG. 137. — Un modelo de zócalo para transistores.

que, generalmente, hay en los zócalos dos orificios que están más próximos entre si, para corresponder a los terminales de emisor y base.

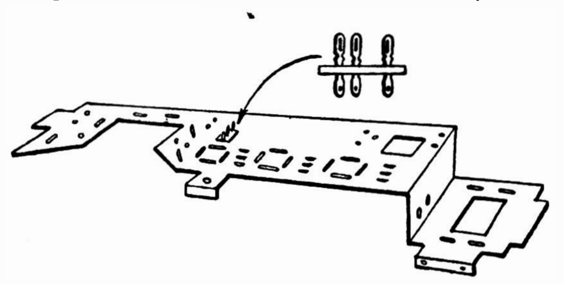


FIG. 138. — Zócalo especial para soldar el transistor.

Sería imposible mantener actualizado este tema porque continuamente aparecen en el mercado nuevos modelos de zócalos.

Pilas eléctricas

Primitivamente se fabricaban las llamadas *pilas secas*, que correspondían al tipo que los que estudiaron Física recuerdan como la pila Leclanche, diseñada por el físico francés del mismo nombre. Hoy día mucha gente sigue creyendo que hay varios tamaños de pilas pero que, fuera de su volumen físico, no tienen otra diferencia que no sea la calidad, por provenir algunas de fábricas más acreditadas. El caso es que tal cosa no es cierta, ya que se fabrican diferentes tipos de pilas según el uso a que se destinan. Además de la clásica pila de carbón y zinc hay las de níquel-cadmio, las de mercurio, las alcalinas, etc. Pero, dentro de las de carbón-zinc, que son las más comunes y económicas, hay diferentes tipos y tamaños, según el uso a que se destinan. Las diferencias en la fabricación contemplan la modalidad de los aparatos de consumo, pues el mismo puede ser constante, con una corriente uniforme, discontinuo, con fuertes picos instantáneos, etc. El caso es que un tipo de pila puede ser apto para ciertos artefactos y no para otros.

Veamos primero los tamaños de las pilas comunes, o sea las de carbón-zinc. La figura 139 muestra los cinco tamaños clásicos, descartando un modelo que es de mucho mayor tamaño y que se usaba antiguamente para campanillas de llamada. Las medidas indicadas en la figura están en centímetros. Dentro de esta serie, que ha sido adoptada por la mayoría de los fabricantes, los modelos suelen denominarse: tipo D o *grande*; tipo C o *mediana* y tipo *lapicera*, que son las más delgadas y de las cuales hay tres tamaños, el AA, el AAA y el N. Todos estos están, con sus medidas, en la figura 139.

Establecidos los tamaños clásicos, veamos los distintos tipos de fabricación. En este detalle no hay uniformidad de designación por parte de las fábricas, porque cada una destaca las cualidades de cada nuevo tipo que pone a la venta con una nueva numeración. Por fortuna hay uniformidad en la designación de tamaños.

Entre los tipos de diferente fabricación hay que distinguir los aptos para linternas, que sirven para ser usados unos pocos minutos y descansar varias horas; estas pilas usadas en forma continua se descargan rápidamente. Hay modelos para linternas industriales que permiten una

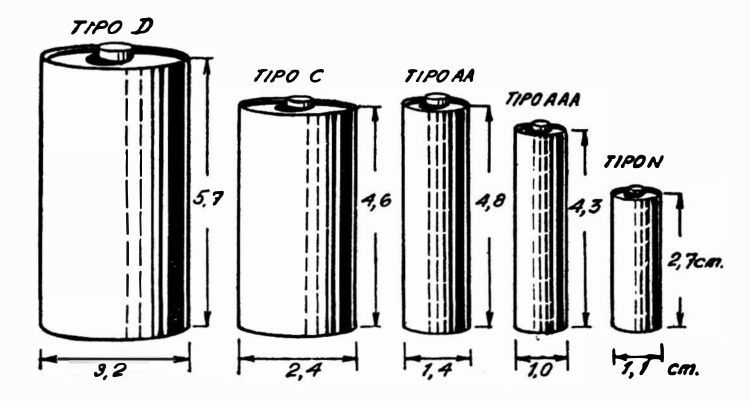


FIG. 139. — Diversos tipos de pilas secas existentes en plaza.

conexión más prolongada pero no servicio continuo. Se fabrican las pilas para receptores portátiles de radio, pero entre ellas hay dos tipos, según los consumos sean altos o bajos; las primeras se usan para aparatos con válvulas y las segundas para transistores. Para servicios especiales de trabajo pesado existe un tipo de pila alcalina, la E95 de la Eveready, que no suele usarse para alimentar transistores por su costo elevado.

El cuadro adjunto resume las aplicaciones de las pilas de carbón-zinc en sus cinco tamaños corrientes, de las cuatro fábricas más conocidas. Todas las fábricas recomiendan no usar pilas de un tipo en una función que requiere otro tipo, por resultar afectados el rendimiento y la duración. En el caso de tener que adquirir pilas cuya fábrica especifique los tipos constructivos con denominaciones diferentes a las que aparecen en el cuadro, deben conseguirse las especificaciones sobre su aplicabilidad, y elegir las que correspondan a las series del cuadro.

DENOMINACIONES COMERCIALES DE PILAS COMUNES

Especificación general	*Modelos equivalentes en 4 marcas*					*Usos*
	Tamaño	*Eveready*	*Burgess*	*Ray-O-vac*	*Bright Star*	
LINTERNAS COMUNES	D C AA AAA N	950 935 915 912 904	2 1 Z 7 N o NE	2LP 1LP 7R o 7LP 400 716	10M 11M 59 58	Linternas de mano Juguetes sin motor.
LINTERNAS INDUSTRIALES	D	1050	210	3LP	10MC	Linternas de uso permanente.
FOTO-FLASH	D C AA	850 835 815	220 120 920	210LP 110LP 710LP	10P 11P 59P	Foto-flash, comunes y electrónicos.
RADIOS ELECTRONICAS	D C AA	A100 635 1015	230	13 14 15	10M	Radios a transistores.
	D C AA	D99 635 1015	2R 130 930	5LP 1LP 7LP o 7R	10MC 11P 59P	Radios a válvulas Audífonos. Juguetes a motor.
	D C			6LP 10LP		Juguetes especiales.

Portapilas

Para conectar las pilas en los aparatos a transistores debe tenerse en cuenta un detalle importante, y es que el usuario debe recambiarlas cuando se agotan y, por lo general, no tiene conocimientos técnicos. En consecuencia, las pilas no deben ir soldadas sino colocadas a presión para poder retirarlas con facilidad. Si bien hay aparatos especiales que funcionan con tensiones no comunes, la mayoría de los mismos trabajan con 6 Volt o con 9 Volt, y como cada pila tiene 1,5 Volt, necesitamos un grupo de 4 ó de 6 pilas, todas conectadas en serie.

Por razones de espacio, el conjunto de pilas se coloca de una de las maneras ilustradas en las figuras 140 ó 141. La figura 140 muestra el grupo de 4 pilas para tener 6 Volt; lo que se destaca es que tanto el polo positivo como el negativo salen por el mismo extremo, para lo cual se colocan dos pilas con la base hacia la izquierda y dos con la base hacia la derecha. En el extremo de la izquierda se hace un puente y luego se hace presión entre las pilas para asegu-

rar el contacto de la cabeza positiva con la base negativa en cada grupo. El caso de la figura 141 es similar, sólo que lleva 6 pilas en dos grupos de 3 para tener un total de 9 Volt; los terminales y el puente de la izquierda son iguales.

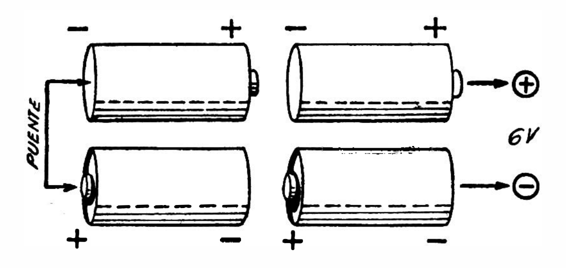


Fig. 140. — Forma de disponer cuatro pilas para obtener 6 Volt.

¿Cómo se hace para conectar el grupo de pilas al receptor? De la manera ilustrada en la figura 142, mediante un *portapilas*. Se trata de una caja de material aislante provista de dos botones y dos resortes, además del puente extremo de la izquierda. Acomodando las pilas de la figura 140 dentro de la caja, entran ajustadas venciendo los resortes. Los dos trozos de cable de la derecha sirven para conectar el portapilas al circuito. Los portapilas para 6 pilas son un poco más largos, para que quepa el conjunto de la figura 141. Al recambiar las pilas no hay posibilidad de error, pues los resortes apoyan en las bases de las pilas y los botones en las cabezas positivas. Algunos portapilas tienen tapa y otros son abiertos, pero siempre van dentro del gabinete del receptor.

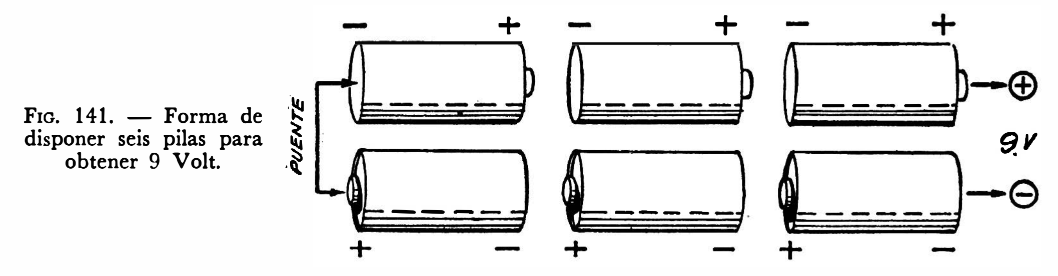


Fig. 141. — Forma de disponer seis pilas para obtener 9 Volt.

Resistores y capacitores

Para todos los lectores que conocen Radio estos nombres son muy familiares; para aquellos que los desconozcan, lamentablemente no es posible explicar en este libro toda la teoría y aplicaciones de tales elementos simples de circuito, y deberán acudir a algún libro de Radio. Si puede hablarse de diferencias entre los resistores y capacitores comunes en equipos a válvulas y aquellos que se emplean conjuntamtente con transistores, tales diferencias son de dos tipos. En primer lugar, para transistores se trata de usar elementos pequeños y en segundo lugar hay mucha menor cantidad de tipos en uso. Veamos algunos detalles sobre esta cuestión.

En equipos de radio a válvulas tenemos resistores de carbón y de alambre. Para transistores sólo usamos los primeros, ya que nunca hay potencias térmicas grandes a disipar. Los llamados resistores o resistencias de carbón son en realidad de composición, hechos con grafito en polvo y un aglutinante para moldearlos en forma cilíndrica. Los valores de resistencia están codificados mediante franjas de colores, tal como se explica en cualquier libro de Radio.

Los únicos resistores que pueden considerarse especiales son los *termistores*, pero de ellos nos ocuparemos en detalle un poco más adelante. Ocurre que estos implementos eran poco conocidos en los equipos a válvulas y son muy utilizados para transistores.

En cuanto a los capacitores, se usan modelos pequeños. Ello ha sido posible en virtud de que las tensiones utilizadas son siempre bajas, rara vez mayores de 15 Volt. El tamaño de los capacitores está muy ligado a la cifra de tensión que deben soportar, pues el espesor del dieléctrico depende de ese detalle. En consecuencia, los

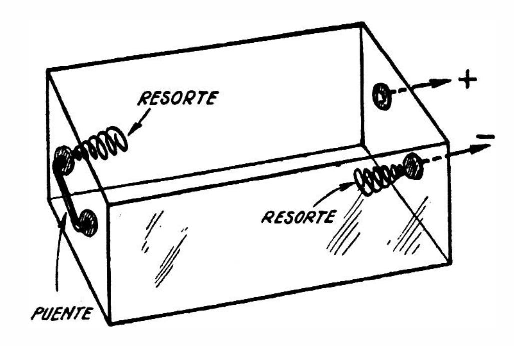


Fig. 142. — Un tipo de caja portapilas.

capacitores de mica, de cerámica, de papel y electrolíticos para equipos a transistores son muy pequeños, comparados con tipos similares usados en equipos a válvulas donde las tensiones

alcanzan centenares de Volt. Las tensiones de aislación son del orden de 10 hasta 20 Volt, rara vez mayores.

Los capacitores variables son similares a los usados en Radio para otros equipos, salvo que se trata de construirlos de menor tamaño. De los trimer que suelen aparecer en los juegos de bobinas se usan sólo los que van en el tandem, mientras que en otros casos se emplea el sistema de sintonía por permeabilidad, en el cual el ajuste de resonancia se logra desplazando el núcleo de hierro dentro de la bobina.

En resumen, vemos que no puede hablarse de elementos especiales para equipos a transistores, como no sea en los detalles referentes al tamaño, tensiones de trabajo, y menor diversidad de tipos. Cuando se estudien circuitos generales, hay que hacer las especificaciones de todos los elementos, y en esa oportunidad tendremos que volver sobre el tema.

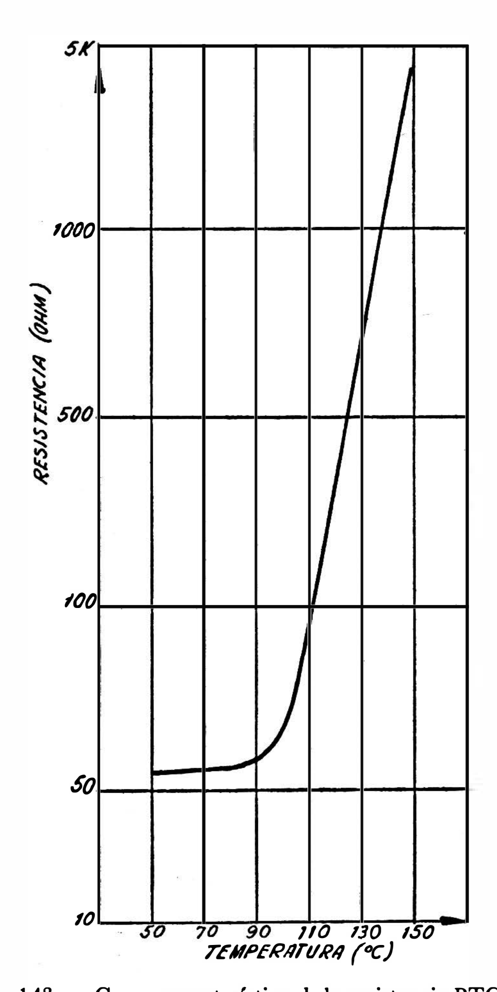


Fig. 143. — Curva característica de la resistencia PTC.

Termistores

El termistor es un elemento especial que puede ser considerado como un semiconductor y como una resistencia, aunque difiera de ambas cosas y se use como alguna de ellas. Está formado por aleaciones especiales que presentan resistencia al paso de la corriente, pero esa resistencia no tiene un valor fijo, sino que varía con la temperatura de la substancia de que están hechos. Constructivamente adoptan la forma de pequeños cilindros o de discos, con dos terminales para conectarlos al circuito.

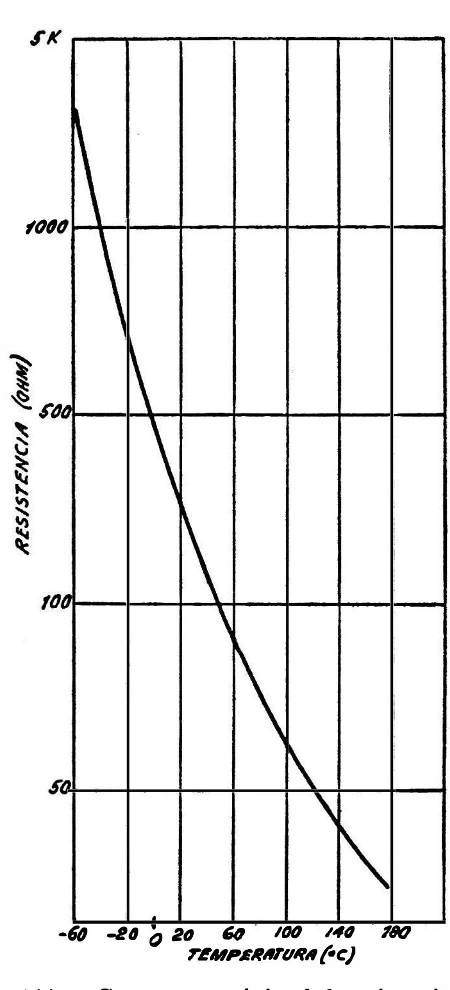


Fig. 144. — Curva característica de la resistencia NTC.

Hay dos tipos fundamentales de termistores, atendiendo a la variación de resistencia con la temperatura: aquellos de coeficiente positivo, en los que la resistencia aumenta al calentarse (PTC) y aquellos en los que la resistencia se reduce cuando se calientan (NTC), o sea que son de coeficiente negativo. Las siglas que los

caracterizan son las iniciales de las expresiones inglesas "Positive Temperature Coefficient" y "Negative Temperature Coefficient". Es de destacar que la variación de temperatura puede producirse en el ambiente donde se encuentran o en el cuerpo mismo del termistor, por pasaje de la corriente eléctrica.

Veamos un poco cómo es la variación de resistencia con la temperatura. La figura 143 nos

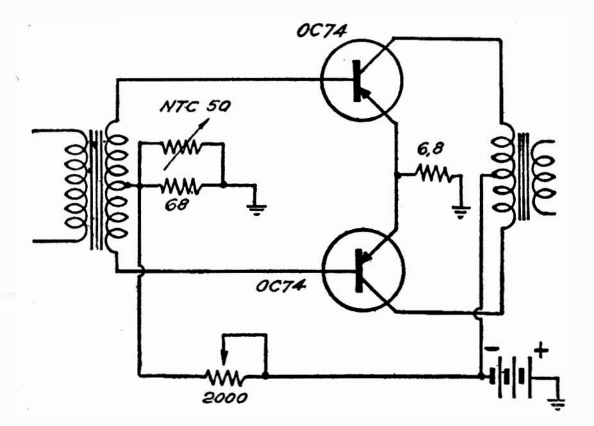


FIG. 145. — Aplicación de la resistencia NTC en un amplificador a transistores.

muestra la variación de resistencia de un termistor tipo PTC de la Carborundum Co., el cual tiene un poco más de 20 Ohm a 50 °C y esa resistencia sube hasta 1.000 Ohm a 135 °C. No hace falta destacar las posibilidades prácticas de un dispositivo que reacciona en tal grado ante variaciones de la temperatura.

En la figura 144 podemos ver el mismo tipo de curva, pero para un termistor tipo NTC, es

al aumentar la corriente aumenta la resistencia, y por consiguiente el termistor trata de impedir los aumentos de corriente. En el NTC al aumentar la corriente se calienta más y se reduce la resistencia, con lo que la corriente tiende a aumentar más aun.

Veamos una aplicación del termistor en circuitos a trasistores. La figura 145 muestra la etapa de salida de un receptor, cuyo circuito completo será estudiado más adelante. Hay dos transistores tipo OC74 con emisor a masa, pese a que una pequeña resistencia limitadora se encuentra intercalada en la unión a masa de ambos emisores. La entrada de señal es por base y la polarización básica se hace mediante un conjunto en paralelo formado por la resistencia fija de 68 Ohm y el termistor de 50 Ohm tipo NTC. A ese paralelo se agrega la resistencia de 2.000 Ohm, ajustable, para dar la exacta polarización para mínima distorsión. Hasta aquí, el sistema ya descripto para la figura 52, de modo que no hay nada nuevo, excepto la inclusión del termistor NTC. Veamos su acción.

La corriente de base es prácticamente independiente de la temperatura pero no ocurre lo mismo con la tensión de base a emisor, la cual se altera en una proporción de unos 2,5 milivolt por grado centígrado. En consecuencia, para poder ir alterando la tensión de base en concordancia con las variaciones de la temperatura ambiente, y mantener el funcionamiento a mínima distorsión del amplificador, se necesita alterar proporcionalmente la tensión de base, y ella está dada por el producto de la corriente que pasa por el termistor y su valor de resistencia. Esta última se va reduciendo con la temperatura, luego la polarización de base sufrirá re-

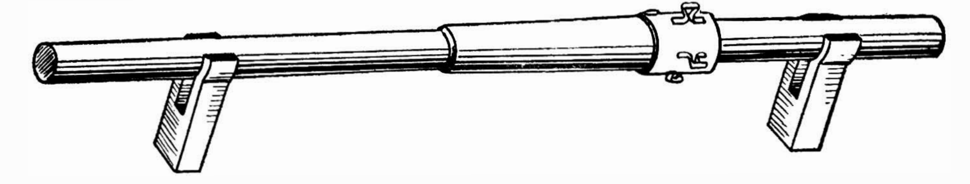


FIG. 146. — Tipo de antena de ferrita para receptores a transistores.

decir con coeficiente negativo de temperatura. Se nota que la resistencia que tiene un valor de 100 Ohm a 0 °C baja hasta 4 Ohm a 100 °C. En límites extremos, tenemos una reducción de resistencia de 2.000:1 para un aumento de temperatura de 210 °C.

Del examen de las curvas de variación de resistencia con la temperatura se desprende que si esa variación es ocasionada por el pasaje de corriente por el termistor, los dos tipos de ellos, PTC y NTC se comportan de manera opuesta ante la elevación de temperatura. En el PTC,

ducciones proporcionales y automáticamente se irá corrigiendo en la medida necesaria para mantener el funcionamiento normal del amplificador, a corriente constante de emisor.

Bobinas y transformadores

Estas denominaciones resultarán familiares a los lectores que conocen Radio, y siempre hay una superposición entre ambas cosas. La razón del porqué un par de bobinas acopladas se llame así o se llame transformador obedece a razo-

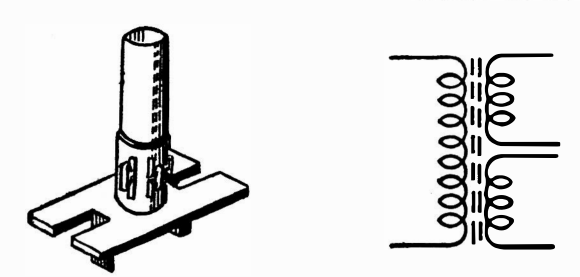


FIG. 147. — Tipo de bobina sin blindar para transistores.

nes de rutina. Rara vez encontramos una bobina aislada, sin otra que esté junto a ella o encimada, y entonces tendríamos siempre transformadores, pero se prefiere llamar bobinas a los transformadores de radiofrecuencia y transformadores a los de frecuencia intermedia y audiofrecuencia. Primitivamente, todos los transformadores de alta frecuencia se bobinaban al aire, sobre un tubo de cartón aislante, pero en la actualidad llevan un núcleo de hierro pulverizado. Los de audio llevan núcleo de pilas de chapas de hierro.

En todo receptor de radio a transistores, la primera bobina que encontramos es la de antena, que tiene un núcleo de ferrita (una cerá-

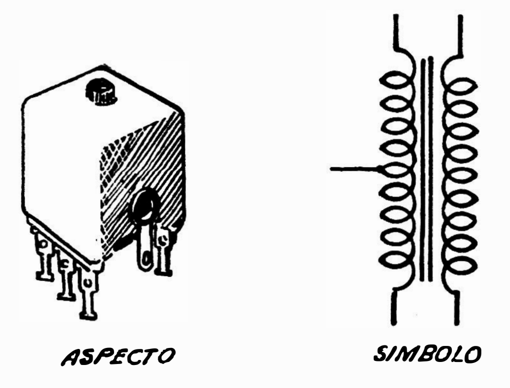


FIG. 148. — Tipo de transformador de F.I. para transistores.

mica magnética) y dos bobinados, tal como se ve en la figura 146. La posición de las bobinas en la barra de ferrita es muy importante, y frecuentemente debe ser ajustada para lograr el máximo rendimiento. Los datos constructivos son, para la barra, su diámetro y longitud, y para las bobinas, la cantidad de espiras, el diámetro del alambre y la longitud que ocupa el bobinado. Estos datos, así como los correspondientes a los otros elementos que se describirán de inmediato, se dan para cada equipo en los capítulos venideros.

La bobina de la figura 147 es una osciladora, cuya función estudiaremos más adelante. Los datos que interesan son el diámetro del tubo y los números de espiras y longitudes, así como los diámetros de los alambres para cada bobinado. En el esquemita de la figura 147 mostramos tres bobinados, pero esto no es riguroso.

La figura 148 muestra un transformador de frecuencia intermedia dentro de su blindaje. El orificio superior permite introducir un destornillador para desplazar el núcleo de hierro roscado. Los dos bobinados pueden tener o no punto medio y llevar o no capacitores en paralelo. Es general que por lo menos uno tenga ambas

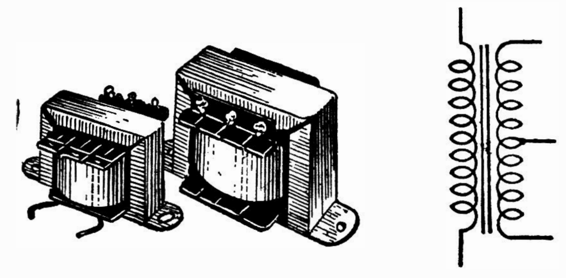


FIG. 149. — Tipos de transformadores de audio para transistores.

cosas. Los datos necesarios son los mismos que para la bobina anterior y la indicación de si la derivación es a la mitad de espiras o a qué fracción del bobinado corresponde.

En la figura 149 vemos un par de transformadores de audiofrecuencia, el de entrada y el de salida de una etapa amplificadora en disposición simétrica. El esquema lateral muestra dos bobinados, uno con punto medio. El de entrada lleva el punto medio en el secundario y el de salida lo lleva en el primario. Para construir estos transformadores interesan los datos del

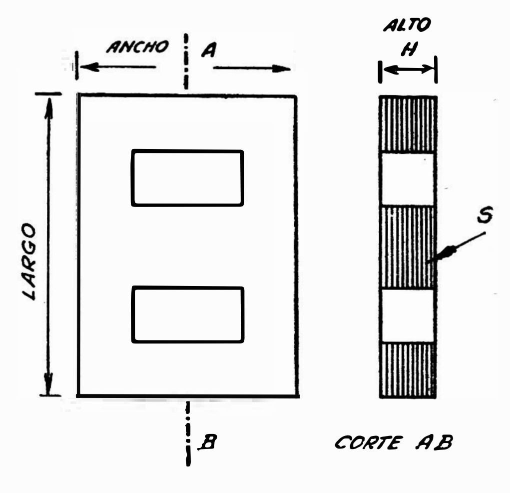


FIG. 150. — Indicación de las dimensiones de los núcleos de los transformadores.

núcleo y de los bobinados. Del núcleo hay que dar la sección transversal, marcada con la letra S en la figura 150, la altura del paquete de chapas y las dimensiones de largo y ancho de dicho paquete, a efectos de armarlo. De los bobinados hay que suministrar las cantidades de espiras y los diámetros de los alambres; es conveniente indicar además si los bobinados se hacen a capas enteras o alternadas, y a hilo simple o a hilo doble. Todo esto lo veremos con detalles al describir los equipos.

Finalmente, vemos en la figura 151 un parlante de los empleados en equipos a transistores. Su tamaño depende de las dimensiones generales que se le quiera dar al equipo, pero la sonoridad obtenible es mejor cuanto más grande. Tiene dos terminales que se conectan a los dos bornes secundarios del segundo transformador de la figura 149, y la impedancia de su bobina debe estar de acuerdo con el transformador y con los transistores empleados.

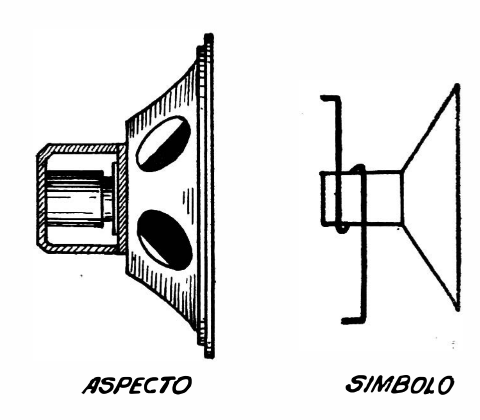


Fig. 151. — Tipo de parlante usado en equipos a transistores.

Día 12

Podríamos decir que entramos en la última etapa de nuestro plan de estudio de los transistores y sus aplicaciones. La limitación impuesta por el carácter de este libro, hace que nos ocupemos de las aplicaciones más difundidas como son los equipos de radio; otras posibilidades que se presentan en la electrónica general e industrial quedan para los tratados especializados. Es así como dedicaremos estos últimos días de nuestro estudio a revisar circuitos completos de receptores, amplificadores, etc., cuyo armado está al alcance de los lectores que han seguido detalladamente los capítulos anteriores.

Todos aquellos que tienen ya conocimientos generales de radio podrán seguir con facilidad el contenido de los capítulos próximos; los demás pueden necesitar el repaso de lo visto anteriormente o la lectura de algún libro elemental sobre radio, aunque los circuitos que allí se encuentren sean con válvulas. Buscamos que se conozca el funcionamiento de las distintas etapas de un receptor, por ejemplo, ya que no es posible prolongar en exceso las explicaciones previas a la descripción de los equipos completos a transistores. No obstante, daremos en todos los casos algunas explicaciones previas para ayudar a los lectores de menor experiencia.

RECEPTORES A TRANSISTORES

La razón de que comencemos la descripción de los equipos prácticos con los receptores superheterodinos es que son los de mayor difusión, los que aparecen en la plaza más standartizados y los que no presentan ningún problema para la adquisición de los materiales necesarios, pues los mismos vienen hasta preparados en forma de juego completo y, muchas veces, incluído un plano con esquemas de armado progresivo. Pero veamos algunos principios básicos sobre el funcionamiento de los receptores superheterodinos.

El receptor de radio moderno

Las señales de radio irradiadas al espacio por las estaciones emisoras viajan en todas direcciones y pueden ser tomadas en cualquier lugar dentro de la zona de captación posible por una antena receptora. Esta última puede ser una antena aérea, un trozo de cable o, mediante la versión más moderna, mediante una antena de ferrita (ver Fig. 146). La zona de captación es aquella donde la señal irradiada no se ha amortiguado tanto como para que esa captación resulte de tan pequeña intensidad que quede cubierta por los ruidos o las interferencias. Debido a ello se emplean distintas frecuencias para las señales irradiadas y así tenemos las emisoras llamadas de onda larga (500 a 1.500 Kilociclos por segundo) que cubren lo que puede llamarse una zona local con un radio de un par de miles de kilómetros. Aumentando la frecuencia se aumenta el radio de influencia porque las ondas irradiadas se transmiten por reflexión en las capas superiores de la atmósfera, y así tenemos las emisoras de ondas cortas (3.000 a 30.000 Kilociclos por segundo), cuyo radio de acción se extiende a miles de Kilómetros. La irradiación en onda corta no cubre la zona más cercana al emisor porque las ondas directas son rápidamente amortiguadas. Por este motivo algunas estaciones transmisoras emplean doble irradiación, onda larga y onda corta, para cubrir todas las zonas.

Los receptores que se destinan a la recepción local únicamente tienen posibilidad de sintonizar solamente onda larga y los que se construyen para captar todas las emisiones son los de onda corta y larga. Para lograr esto último se debe permutar el conjunto de sintonía mediante una llave selectora de banda y el dial tendrá así dos o más escalas de frecuencias; y lo de más de dos escalas viene de que algunos receptores tienen más de una banda de onda corta.

Pero en todos los casos lo esencial es saber que la señal de radio llega al punto en que se

encuentra el receptor con pequeña intensidad. Si esa intensidad la queremos describir con números podríamos decir que tiene unos pocos millonésimos de Volt, o sea unos pocos microvolt. Para poder usarla en un receptor en forma práctica, es decir que nos accione un parlante reproductor del sonido, necesitamos que sea mucho mayor, digamos de por lo menos un Volt, luego, necesitamos amplificarla; y lógicamente si tenemos millonésimos y debemos llegar a unidades, la amplificación necesaria es del orden de un millón de veces.

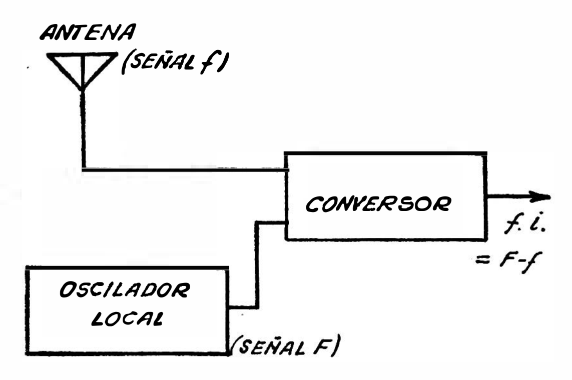


Fig. 152. — Principio del conversor de frecuencia en el receptor superheterodino.

Y bien, para obtener tanta amplificación sin acudir a usar muchas etapas, cosa que trae el inconveniente de encarecer los equipos e incorporar a la señal ruidos propios de la acción amplificadora, deben hacerse amplificadores resonantes, que reciben señales de diferentes frecuencias pero sólo amplifican, y mucho, aquella señal cuya frecuencia coincide con la de resonancia de su circuito sintonizado (ver Fig. 74 y siguientes); en el capítulo 7, que conviene repasar, se ha anticipado algo sobre este asunto.

Subsiste un problema: si tenemos varias etapas amplificadoras, sintonizadas a la frecuencia de la señal deseada, debemos modificar la frecuencia de resonancia en todas ellas cada vez que se desea cambiar de estación. Esto es lo que se hacía hace muchos años en los receptores que se llamaron *neutrodinos* y que cayeron en desuso. En la recepción moderna se emplea un sistema que data desde unos 30 años, y que se llama *superheterodino*. Su principio básico se muestra en la figura 152 y consiste en mezclar en una etapa llamada conversor de frecuencia, o simplemente *conversor*, dos señales, una es la captada en la antena y otra se genera en un circuito *oscilador local*. La frecuencia de la señal de antena resulta ser la de la estación que se desea sintonizar y la del oscilador local la variamos siempre, de tal modo que sea mayor que la de antena en una cantidad fija. Esa diferencia de frecuencias se mantiene constante y se llama *frecuencia intermedia*. Para los que gustan de los números, podemos escribir f para la frecuencia de la señal que elegimos en la antena y F para la que obligamos a producir en el oscilador, resultando la diferencia:

$$f.i. = F - f$$

Para elegir una señal en antena y al mismo tiempo cambiar la frecuencia del oscilador local, debemos usar dos capacitores variables manejados por un eje único, de tal modo que los circuitos sintonizados de antena y del oscilador local cambien su frecuencia al mismo tiempo; ese capacitor doble se llama vulgarmente *tandem* y es bien conocido en radio. En resumen, en la figura 152 tenemos que al sintonizar una estación con el tandem estamos acomodando las dos frecuencias; la de la señal captada la acomodamos en el circuito resonante de antena y la frecuencia mayor, del oscilador local, la acomodamos en su propio circuito resonante (Fig. 85). De este conjunto, llamado conversor, sacamos una señal cuya frecuencia es fija para cualquier estación captada, la frecuencia intermedia, cuyo valor usual es 465 Kc/s.

Ahora tenemos una señal de alta frecuencia para amplificar, pero su frecuencia es constante, luego podemos hacer amplificadores sintonizados como los que vimos en la figura 83. La figura 153 nos muestra esto en forma esquemática, dos etapas amplificadoras de frecuencia intermedia y luego un *detector*. Esto último tiene una explicación: la señal que viene del emisor, y que hemos captado en la antena y la hemos mezclado con otra que producimos en nuestro receptor, trae impresa en forma de alteraciones rítmicas de amplitud, la música o la palabra que se quiere escuchar en el parlante. Para lograr esto último debemos extraer esas alteraciones rítmicas, que no son otra cosa que una señal de



Fig. 153. — Esquema sintético del amplificador de F. I.

audiofrecuencia. Para tal extracción hay que rectificar la señal de alta frecuencia, cosa que se hace mediante un diodo rectificador que llamamos *detector*.

Una vez que tenemos la señal de audiofrecuencia, debemos amplificarla para que la misma nos accione un parlante. Eso se hace con un amplificador de audio como el que vemos esquematizado en la figura 154. El mismo consta de un preamplificador o etapa previa y un amplificador de potencia, que en los receptores a transistores es generalmente simétrico, tal como lo estudiamos en el capítulo 6.

Algunos receptores superheterodinos, especialmente los destinados a captar señales de ondas cortas o los que deben funcionar en condiciones de recepción no muy buenas, usan una etapa amplificadora de alta frecuencia (R. F.) antes del conversor. La figura 155 esquematiza este caso, y entonces el tandem o capacitor variable de sintonía deberá tener tres secciones, pues son tres los circuitos resonantes en los que debe cambiarse la frecuencia en forma simultánea: la antena, el acoplamiento entre el amplificador de R.F. y el conversor y el oscilador local. Este detalle y otros relacionados con la esquematización práctica de receptores superheterodinos, será vista en forma completa al estudiar los circuitos de receptores.

En las cuatro figuras vistas en forma esquemática, 152 a 155, no aparecen los elementos integrantes ni los valores de los mismos, precisamente por tratarse de esquemas simbólicos. Tomando cualquier esquema de un receptor moderno, el lector puede encerrar sus etapas en rectángulos con un lápiz de color y comprobará que siempre existen las mismas en forma definida, con los elementos de interconexión que correspondan. Para los circuitos prácticos se ha preferido tomar los modelos comerciales exis-

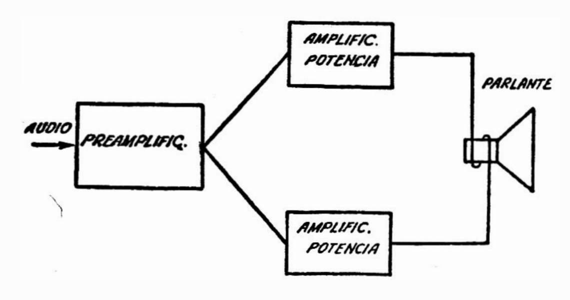


Fig. 154. — Esquema sintético del amplificador de audio de un receptor.

tentes en plaza para disponer del máximo verismo, ya que todos ellos funcionan y son el resultado de diseños expertos. En cada caso se especificará la marca comercial a que pertene-

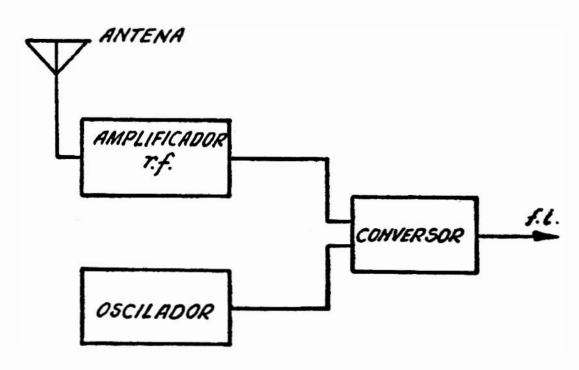


Fig. 155. — Hay casos en que se antepone una etapa de R.F. al conversor.

cen sin que ello implique abrir juicio sobre calidad o eficiencia, cosas que serán motivo de la propia experiencia que cada lector coseche al construir sus equipos.

El receptor común de seis transistores

Debido a que las bobinas para los receptores a transistores se fabrican en plaza en forma de juegos, cada marca entrega con las mismas un circuito en el cual coloca los valores de resistencias y capacitores que corresponden al óptimo funcionamiento. Esta circunstancia hace que los circuitos más difundidos lleven los nombres de las marcas de bobinas, como ASTOR, MINX, RAF, PIGMEO, ACHE, etc. Esta nómina no es completa ni sigue un orden determinado, y cada armador opta por una marca según sus propios gustos o simpatías. Pero si analizamos los circuitos de todas las marcas existentes, notaremos que no hay diferencias sustanciales, sino de simples detalles.

Tomemos de todos ellos el circuito ASTOR que vemos en la figura 156. Tiene 6 transistores y un diodo, y funciona con 9 Volt, o sea con 6 pilas secas comunes. Analicemos las distintas etapas del circuito, cuyo funcionamiento parcial ya conocemos.

El primer transistor T_1 es el conversor (ver Fig. 152) a cuya base se aplica la señal de antena y a cuyo emisor llega la señal del oscilador local. Obsérvese que el mismo transistor oficia de oscilador, pues hay dos bobinas osciladoras, la que integra el circuito resonante, que tiene extremos 3 y 4, y la que sirve de realimentadora por colector, extremos 1 y 2. Esta segunda bobina oficia de mezcladora ya que recibe la señal de antena amplificada por el transistor y la señal del oscilador local, por vía inductiva. De la misma se toma la señal de frecuencia intermedia para aplicarla al primer transformador de F.I. La bobina de antena tiene núcleo de ferrita y dos bobinados; uno for-

ma parte del circuito sintonizado y el otro aplica señal a la base del transistor. Tenemos entonces dos circuitos resonantes que deben sintonizarse para cada señal que se desee captar: el del oscilador y el de antena, y vemos que los capacitores variables de ambos están unidos con una línea punteada; esos dos capacitores forman el tandem doble de sintonía. Cada sección del tandem tiene un pequeño capacitor variable o trimer para ajustar el arrastre, cosa que se hace al calibrar el receptor. Esos trimer no se ven en el esquema, pero en otros circuitos los veremos dibujados; en realidad, pueden dibujarse o no, pero deben existir.

Pasamos ahora a la primera etapa amplificadora de F.I. con el transistor T_2. Se entra a éste con la señal que entrega el primer transformador (1er. F.I.) y la salida del colector se aplica al 2do. F.I. Vemos el capacitor N de neutralización cuya misión fue explicada para las figuras 82 y 83. De esta primera etapa pasamos a la segunda amplificadora de F.I. con otro transistor igual al anterior, T_3, cuya salida se aplica al 3er. F.I.; esta etapa tiene también el capacitor neutralizador N.

Así hemos llegado al detector, que es un diodo D de germanio. El mismo rectifica la señal de F.I. y nos entrega la señal de audio que enviamos al amplificador correspondiente a través del control de volumen, potenciómetro de 5.000 Ohm. T_4 es el transistor preamplificador de audio, cuya salida por colector se aplica al transformador de entrada a la etapa simétrica amplificadora de potencia, con los dos transistores T_5 y T_6. La salida de los mismos, mediante el transformador de acoplamiento final, llega así al parlante.

Hay en el esquema de la figura 156 un detalle que no ha sido explicado, y que veremos en todos los circuitos de receptores comunes. Se trata del *control automático de sensibilidad*, abreviadamente C.A.S., bien conocido para los que dominan el funcionamiento de los receptores a válvulas. Veamos de qué se trata. En la conexión que va del diodo detector al potenciómetro control de volumen aparece un conjunto formado por una resistencia de 4.700 Ohm, otra de 100.000 Ohm y en el punto de unión de ambas, un capacitor electrolítico de 10 mfd; además, de dicho punto sale una conexión que va al punto Nº 1 del primer transformador de F.I. Este punto Nº 1 debería estar conectado a masa, como lo está el Nº 1 del tercer F.I. o, si se debe polarizar la base del transistor T_2, colocar allí una resistencia a masa, como ocurre en el segundo F.I., que, combinada con la resistencia de 47 Kilohm que va a la línea del negativo, dan la pequeña polaridad negativa necesaria.

Lo que ocurre es que se quiere dar a la base de T_2 una polaridad que no sea constante, sino que dependa de la amplitud de la señal captada, para que ese transistor amplifique más para estaciones débiles y menos para estaciones fuertes, a efectos de nivelar un poco el volumen de sonido para todas las estaciones. Y eso se consigue porque el diodo detector, al rectificar la portadora para extraerle la envolvente de audiofrecuencia, produce también una corriente continua, producto de dicha rectificación, la cual, al circular por el par de resistencias que actúa como un divisor de tensión, suministra en el punto de unión de las mismas una tensión continua que es tanto mayor cuanto mayor sea la amplitud de la señal captada y se reduce en consecuencia la corriente de emisor de ese transistor y la ganancia de la etapa; viceversa, cuando la señal captada es débil la tensión del C.A.S. es menor, aumenta la corriente de emisor y la ganancia de la etapa.

La función del capacitor electrolítico en el, punto de toma de tensión para el C.A.S. es la misma que la del capacitor que se pone a la salida de un diodo rectificador, es decir, enderezar bien la corriente continua obtenida para quitarle fluctuaciones. En la figura 23 nos hemos ocupado de este detalle, de modo que allí podríamos repasar el tema. Ahora continuaremos con la descripción de nuestro receptor.

Todos los transistores empleados son PNP, por consiguiente llevan el emisor con polaridad positiva. Luego la batería de 6 pilas debe tener su polo positivo a masa y su negativo a la línea general de alimentación para colectores. Las bases llevan una polarización mediante juegos de resistores, uno a masa y otro a línea negativa, según lo vimos para la figura 52. Los capacitores tienen funciones de acoplamiento y de paso ya conocidas. Todos los valores que aparecen en el esquema son los que corresponden para funcionamiento correcto.

En la parte inferior del esquema aparecen las claves numéricas de conexiones de la bobina de antena y de las restantes, o sea la osciladora y los transformadores de F.I. Los números de sus terminales coinciden con los que aparecen en el esquema. Para otros juegos de bobinas deben seguirse, en todos los casos, las indicaciones de los fabricantes.

Podríamos decir algo respecto de los materiales, pero ello queda librado siempre a las preferencias del armador. El parlante hay que pedirlo con el transformador adecuado para el par de transistores de salida, pues el primario de dicho transformador debe presentar la impedancia necesaria de colector a colector de dichos transistores. Por ejemplo, si se emplean transis-

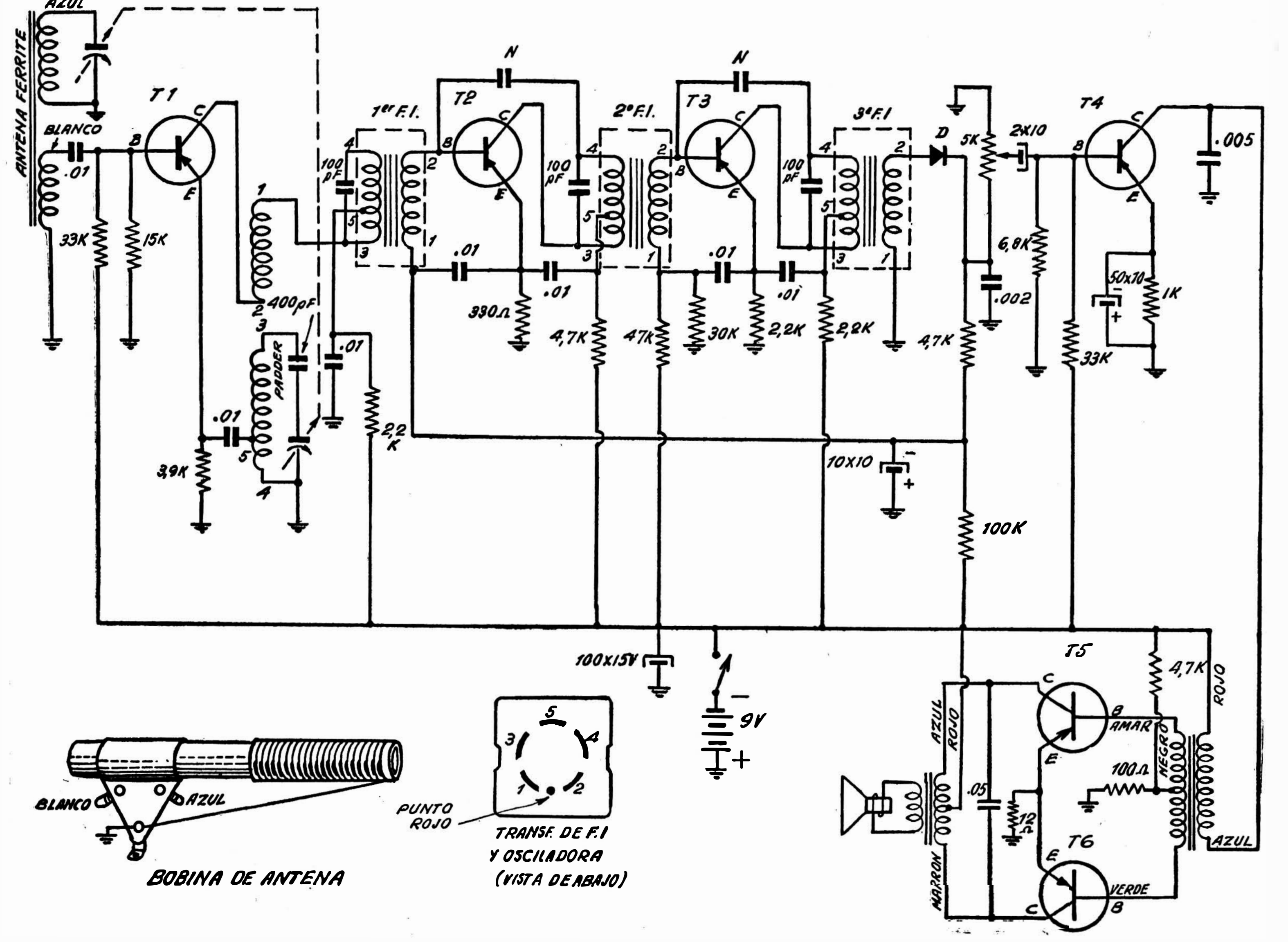


Fig. 156. — Esquema del receptor modelo IBY III de la ASTOR.

tores Philips tipo OC72, con 9 Volt, se necesitan 300 Ohm de colector a colector como resistencia de carga.

Es interesante conocer los juegos de transistores que se encuentran habitualmente en plaza, con diversas procedencias. Actualmente hay tipos Philips, Americanos y Japoneses. La tabla adjunta da los juegos más comunes con las características que los designan. Se incluyen los Sylvania tipo NPN, para los cuales hay que invertir en el esquema la polaridad de la batería y la de todos los electrolíticos y dar vuelta al diodo detector. Es evidente que esta nómina puede necesitar agregados, al aparecer nuevos juegos.

JUEGOS DE TRANSISTORES DE USO CORRIENTE EN RECEPTORES

Transistores PNP

Marca	*Amplif. R.F. y F.I.*	*Conversor*	*Preamplif. audio*	*Amplif. potencia*
PHILIPS	OC45 OC169	OC44 OC169	OC71 OC75	OC72 OC74
KOBE TOSHIBA, etc.	2SA31 2SA255	2SA110 2SA257	2SB32 2SB261	2SB37 2SB44
GRAL TRANSISTOR	760	761	81	109
INDUSTRO	TR812	TR813	TR814	TR811
R. C. A. GEN. ELECTRIC RAYTHEON, etc.	2N482/3 2N410 2N135 2N139	2N485/6 2N412 2N136 2N140	2N362/3 2N406 2N89 2N109	2N360 2N408 2N86 2N633

Transistores NPN

SYLVANIA	2N94	2N212	2N35	2N214

Diodos detectores

1N34 — 1N295 — OA50 — OA79 | OA170

Armado del receptor

Para todos los que tienen cierta experiencia en el armado de receptores, aunque sean los que emplean válvulas, el problema termina con la observación del esquema; pero para los no iniciados será muy útil si encaramos los detalles de armado en forma progresiva, para facilitarles el debut. Después de construir un receptor, los siguientes ya no presentarán ningún problema.

Tomemos entonces el receptor de la figura 156 y dividamos la operación en seis etapas, una para acomodar y fijar los elementos sobre el chasis, cuatro para las conexiones y una final para la calibración. El mínimo que pretendemos es que el lector sepa asegurar al chasis los elementos en la forma correcta y que interprete los símbolos del esquema y sus equivalentes con los elementos reales. Hacen falta los siguientes elementos:

Resistencias de 1/2 Watt

1 de 12 Ohm	1 de 6,8 Kilohm
1 de 100 „	1 de 15 „
1 de 330 „	1 de 30 „
1 de 1 Kilohm	2 de 33 „
3 de 2,2 „	1 de 47 „
1 de 3,9 „	1 de 100 „
3 de 4,7 „	

Capacitores de cerámica

1 de .002 mfd	7 de .01 mfd
1 de .005 „	1 de .05 „

Capacitores electrolíticos

1 de 2 mfd × 10 V	1 de 50 mfd × 10 V
1 de 10 mfd × 10 V	1 de 100 mfd × 15 V

Otros capacitores

2 de neutralización	1 pader
3 de F.I. de 100 mmfd	1 tandem doble .00041 con trimer

Otros materiales

1 juego bobinas	1 juego transistores (6)
1 transformador entrada	1 diodo de germanio
1 transformador salida	6 pilas de 1,5 V con portapilas
1 parlante 3,2 Ohm	1 gabinete con chasis, perillas, etc.
1 potenciómetro 5 K con llave	

especiales que tiene el chasis, sea mediante la arandela elástica (Fig. 137) o mediante dos tornillos. El tandem se asegura mediante 4 zapatas, arandelas de goma, arandelas metálicas y tuercas; de este modo evitamos que las vibraciones del chasis provoquen efecto de microfonismo. Las bobinas se colocan en los agujeros circulares que tiene el chasis mediante soldadura de sus dos aletas, en el caso que nos ocupa, o mediante tornillos, si vienen preparadas para ello. En la figura 157 se marca en punteado la posición que tendrá la bobina de antena, pero que colocaremos al final.

En la vista inferior de la figura 158 vemos que se han colocado, además de los elementos antes mencionados, dos puentes aislantes de seis puntas, el transformador de entrada de audio y el potenciómetro que oficia de control de volumen con el interruptor general adosado; este potenciómetro va colocado en el frente del chasis, y de modo que su eje quede en la misma línea vertical que el eje del capacitor variable (tandem). El transformador de salida de audio se asegura al parlante, si ya no lo trae adosado. También puede colocarse en el chasis, pero en este caso no se procedió así.

Aparte de lo que hemos colocado en el chasis,

FIG. 157. — Distribución de los elementos sobre el chasis de nuestro receptor.

vemos que hay dos huecos en el mismo; uno es para el parlante, que queda en el centro del frente del chasis, y el otro es para el portapilas, que queda en el extremo opuesto al del tandem. Si deseamos colocar un dial, el mismo se asegurará en el frente del chasis donde se halla el tandem, aunque muchos receptores a transistores no lo llevan, colocándose en el eje del tandem una perilla de diámetro grande con marcaciones de frecuencia.

Primera etapa del armado

Lo primero que debe hacerse para armar el receptor de la figura 156 es colocar todos los elementos que quedan asegurados en el chasis, el cual tiene todas las perforaciones necesarias. La figura 157 nos muestra los elementos ya colocados en vista superior, y la figura 158 el mismo chasis en vista inferior. Los zócalos para los transistores se colocan en las perforaciones

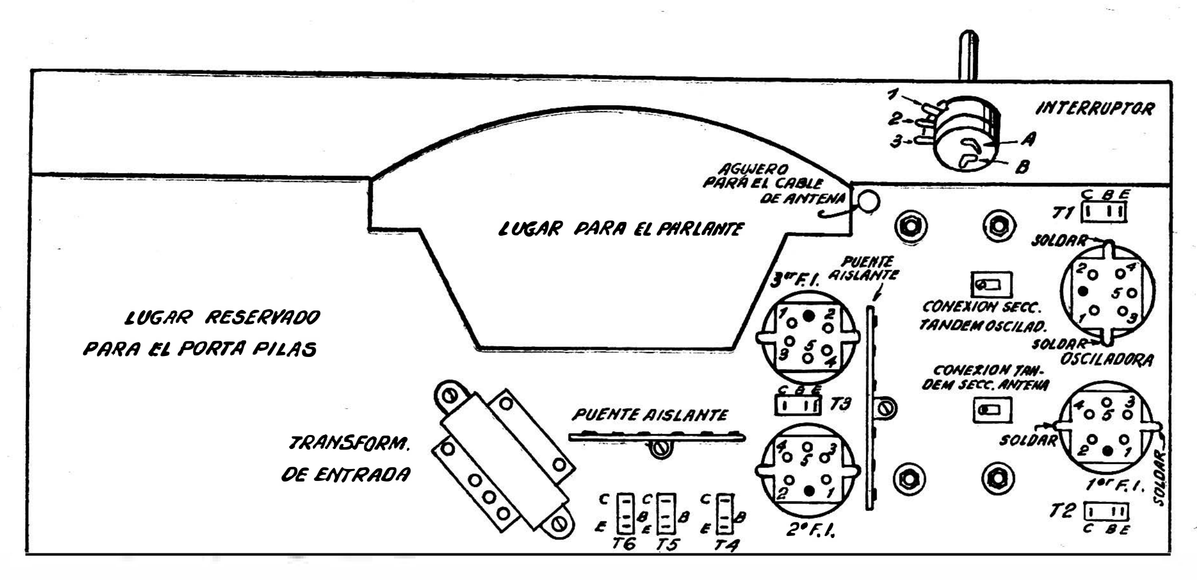


Fig. 158. — Vista del mismo chasis por la parte inferior, con los elementos colocados.

Con lo dicho, hemos terminado la primera parte del armado, y ahora hay que comenzar las conexiones propiamente dichas. Los elementos necesarios, resistencias y capacitores, deben estar sobre la mesa, en una pequeña bandeja y alineados para reconocer fácilmente sus valores. Inclusive, conviene ya colocar la antena de ferrita, porque en este tipo de bobinas que hemos elegido para el receptor presentado como modelo, la misma tiene una pieza de sujeción al chasis con dos terminales aislados, el azul y el blanco, de los cuales sacaremos sendos cables de conexiones. También puede colocarse un puente aislante de dos puntas, y hacer en él las conexiones, dejando la antena para el final, o sea la quinta etapa del armado.

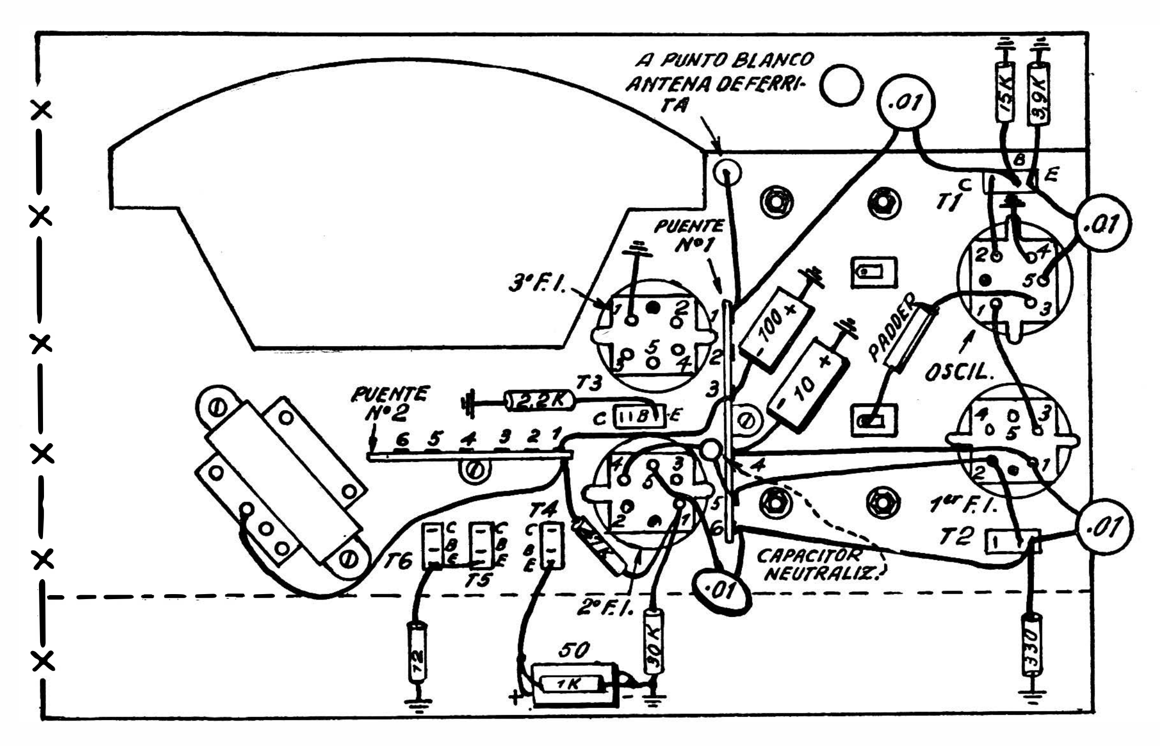


Fig. 159. — Segunda etapa del armado; las primeras conexiones.

Segunda etapa del armado

Esta etapa comprende la colocación de los elementos y las conexiones que vemos en la figura 159. Comenzando arriba y a la derecha, tenemos el zócalo del transistor T_1. Del mismo salen dos resistencias, dos capacitores y un cable, en esta primera etapa; las resistencias, van soldadas a masa en un extremo, los capacitores van uno al punto 5 de la bobina osciladora y el otro a un punto del puente aislante central citor de .01 y con un cable, al punto 4 del puente aislante, que lleva un capacitor de 10 mfd a masa, electrolítico polarizado con positivo a masa. El punto 2 lleva un cable al punto 5 del puente aislante y una conexión a la base del transistor T_2. Para terminar con este extremo, conectamos en el emisor una resistencia de 330 Ohm a masa y un cable que va al punto 6 del puente aislante, del que sale un capacitor de .01 que va al punto 5 del 2do. F.I.

Ya nos hemos corrido hacia la izquierda, y

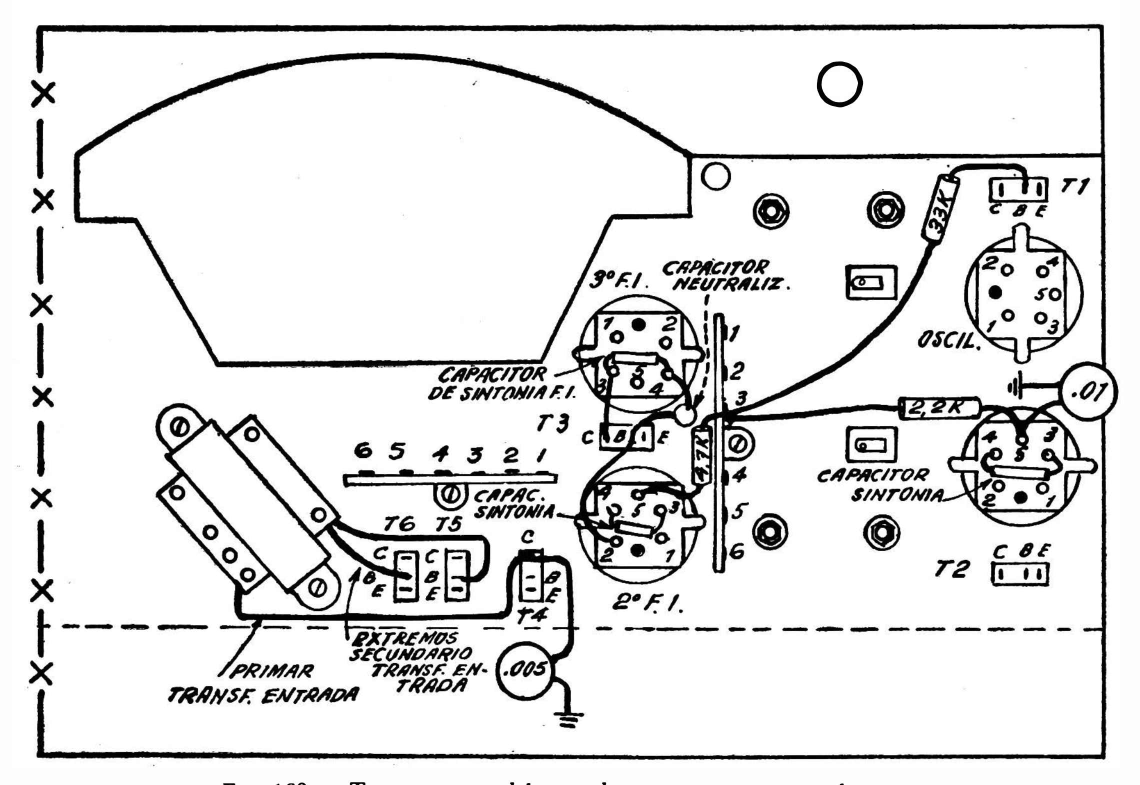


Fig. 160. — Tercera etapa del armado; se conectan otros elementos.

y el cable va al punto 2 de la osciladora. Ese punto 1 del puente aislante va al punto blanco de la antena, cuyo punto azul se conecta al tandem, sección delantera, conexión que vemos en la figura 157, pero que hacemos ahora.

Seguimos descendiendo en la figura 159, y conectamos a masa el punto 4 de la osciladora; luego conectamos el capacitor padder de 400 mmfd al punto 3 de esta bobina por un extremo y al terminal aislado del tandem, sección posterior, por el otro extremo. Nos queda el punto 1 de la osciladora, que va conectado al punto 3 del primer transformador de F.I.

Bajamos un poco más, para terminar de conectar este 1er. F.I.; conectamos su punto 1 al emisor del transistor T_2 mediante un capaseguimos conectando este transformador; su punto 4 lleva uno de los capacitores neutralizadores que va, por su otro extremo, al punto 5 del puente aislante; su punto 1 lleva una resistencia de 30 Kilohm a masa y una de 47 K al punto 1 del otro puente aislante, el que aparece en posición horizontal en la figura 159. De este mismo punto 1 salen dos cables, uno que va al punto 3 del primer puente aislante, que es el punto de línea del negativo general, y otro que va a uno de los terminales del transformador de entrada de audio.

La etapa se completa con la conexión a masa del punto 1 del 3er. F.I., la colocación de la resistencia de 2,2 K de emisor a masa en el transistor T_3, la conexión a masa del electrolí-

tico de 100 mfd en el punto 3 del puente aislante vertical, la colocación del juego de resistencia de 1 K y capacitor de 50 mfd de emisor de T_4 a masa y una resistencia de 12 Ohm desde los emisores unidos de los transistores T_5 y T_6 a masa.

Tercera etapa del armado

Pasamos ahora a observar la figura 160 que nos muestra los elementos y conexiones a realizar en esta segunda parte del trabajo. Comenzamos por dar polaridad negativa desde el entrada a las bases de los transistores T_5 y T_6 y el extremo que teníamos libre del primario del transformador de entrada al colector de T_4, agregando un capacitor de .005 a masa desde ese colector.

Cuarta etapa del armado

Lo que hacemos ahora está representado en la figura 161. Son 7 resistencias, tres capacitores y el diodo, además de algunos cables. Del punto 4 del puente aislante vertical salen dos resistencias; una de 4,7 K va al punto 2 y una

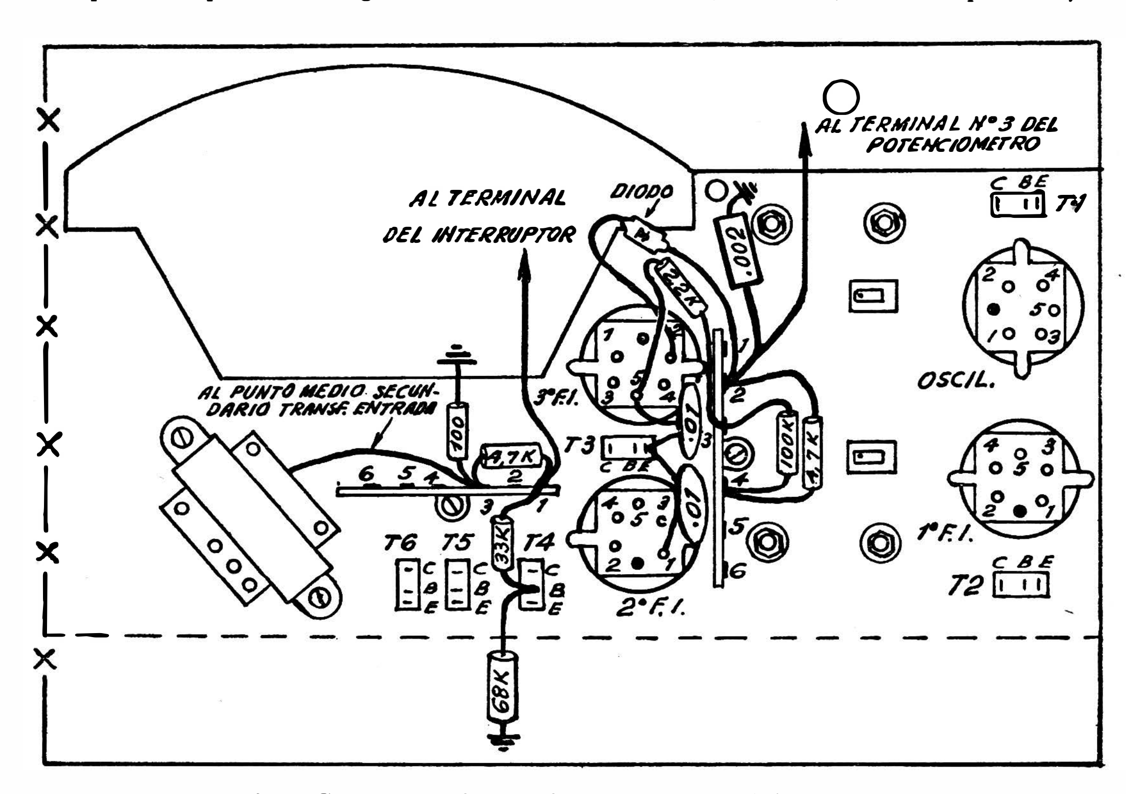


Fig. 161. — Cuarta etapa del armado; se conectan los últimos elementos.

punto 3 del puente aislante vertical a la base de T_1 con una resistencia de 33 K, al punto 5 del primer transformador de F.I. con una resistencia de 2,2 K y al punto 5 del 2do. F.I. con una resistencia de 4,7 K. Luego colocamos los tres capacitores de sintonización de los transformadores de F.I., que son de 100 mmfd, entre sus puntos 3 y 4 y el de neutralización del tercer F.I. que va de su punto 4 a la base de T_3, que va unida además al punto 2 del 2do F.I. El colector de este transistor va unido al punto 3 del 3er. F.I. También colocamos un capacitor de .01 desde el punto 5 del primer F.I. a masa.

Para terminar con esta etapa conectamos los dos cables del secundario del transformador de de 100 K al punto 3, negativo general. De este punto va una resistencia de 2,2 K al punto 5 del último transformador de F.I.; del punto 3 del puente aislante horizontal salen dos resistencias, una de 100 Ohm a masa y una de 4,7 K al punto 1, del cual sale un cable que va a uno de los terminales del interruptor general. Volvemos ahora al puente aislante vertical y sacamos un cable del punto 2 que llevamos al terminal Nº 3 del potenciómetro, un capacitor de .002 a masa y el terminal de cátodo del diodo, cuyo ánodo va al punto 2 del 3er. transformador F.I.

Para terminar con esta etapa faltan colocar dos capacitores de .01 mfd que van, uno entre el emisor de T_3 y el punto 5 de ese transforma-

dor y otro desde ese emisor al punto 1 del 2do. F.I.; las dos resistencias finales van de la base de T_4 a masa la de 68 K y al punto 1 del puente vertical la de 33 K.

Quinta etapa del armado

Esta etapa puede considerarse la de los detalles finales, y la vemos en la figura 162. Conectamos a masa el terminal Nº 1 del potenciómetro y su terminal 2 va, mediante un capacitor de 2 mfd, electrolítico, a la base de T_4. Los colectores de los transistores finales T_5 y T_6 llevan dos cables que van a los terminales extremos del primario del transformador del parlante, cuyo punto central va con un cable al punto 1 del puente vertical. Esos tres cables pueden trenzarse para obtener un mejor aspecto, y debe dárseles una longitud de unos 20 a 30 centímetros, para facilitar la operación de sacar y poner el chasis dentro del gabinete.

El portapilas, que en este caso es el modelo largo, se prepara según lo vimos en la figura 142, y su polo positivo se conecta al chasis y el negativo al terminal que nos quedó libre en el interruptor general. Estos dos cables que vienen del portapilas también deben tener una longitud de unos 20 a 30 cm, y convendría que fueran uno negro y otro rojo, para fines de identificación; en ese caso pueden trenzarse. Con lo dicho ha terminado la tarea del armado de nuestro receptor.

Sexta etapa; calibrado del receptor

En esta etapa del trabajo debemos hacer funcionar correctamente al receptor, pero antes de colocar los transistores en sus zócalos se debe verificar minuciosamente el conexionado con el esquema. A continuación se colocan las pilas en el portapilas y se mide la tensión general cerrando el interruptor; el voltímetro debe conectarse en la escala de 10 Volt, con su cable rojo a chasis y el negro al terminal 3 del puente vertical o al 1 del horizontal; la lectura debe ser algo mayor de 9 Volt, si todo anda bien. Recién entonces abrimos el interruptor y colocamos los transistores en sus zócalos.

Ahora debemos proceder al calibrado del receptor. Si movemos la perilla de sintonía girando el tandem, con el control de volumen al máximo, seguramente captaremos señales, a menos que estemos muy fuera de ajuste. Encontrada cualquier señal, preferentemente una de

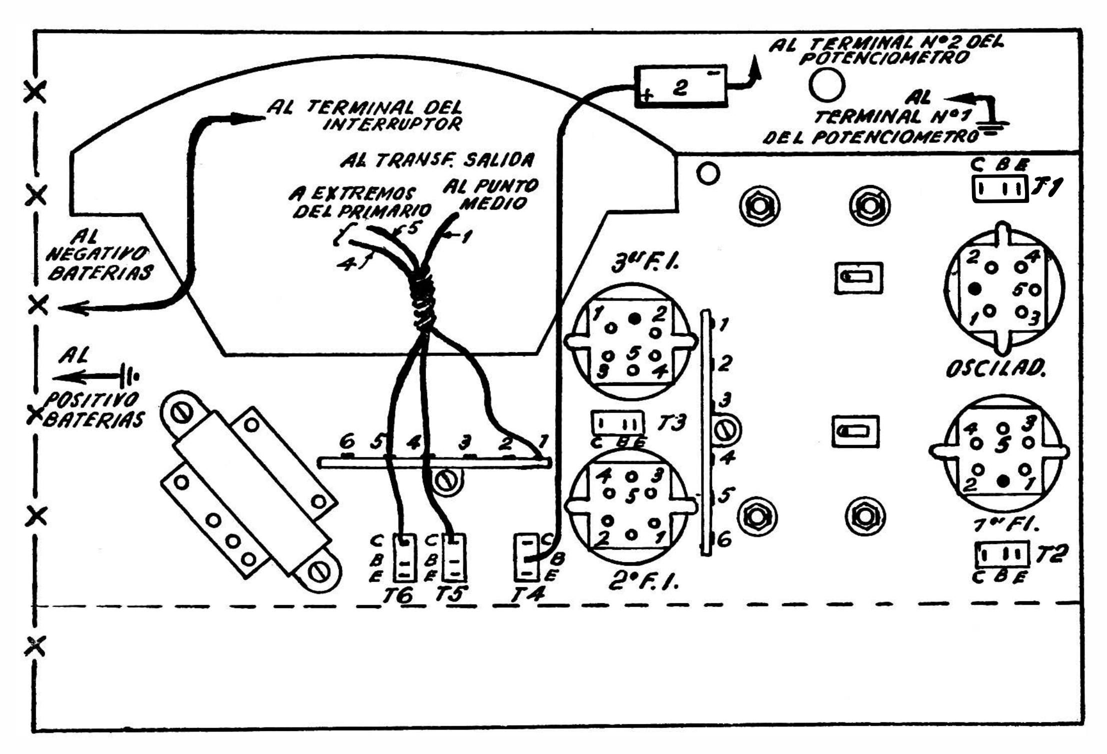


Fig. 162. — Quinta etapa del armado; se hacen las conexiones finales.

frecuencia baja, correspondiente a la posición del tandem que corresponde a sus chapas móviles entradas casi del todo, procederemos a retocar el ajuste de los núcleos de los transformadores de F.I., desde el último hacia el primero, hasta lograr el máximo de señal en parlante.

Luego giramos la perilla de sintonía hasta una frecuencia de unos 680 Kilociclos (Radio Sarandí, Uruguay) y si captamos esa señal desplazamos la bobinita de la antena de ferrita hasta lograr máxima señal. Si no captáramos Radio Sarandí, podemos hacer la operación indicada con Radio Colonia, 550 Kc/s. Luego corremos el tandem hasta sacar las chapas móviles y llegar a una frecuencia de 1530 Kc/s (Radio Carmelo, Uruguay); allí ajustamos el trimer del tandem, sección antena, que es la que está contra el frente del chasis, hasta lograr máxima salida. Si no logramos captar Radio Carmelo, la operación indicada la podemos hacer con Radio Del Pueblo en 1350 Kc/s.

Al realizar el ajuste en la forma indicada, pudiera ocurrir que no se lograra hacer entrar la banda completa de onda larga en el giro del capacitor variable, como si esa banda estuviera desplazada hacia uno u otro extremo. En tal caso, debe actuarse sobre el trimer de la sección osciladora del tandem, que es la de atrás, retocándolo para correr toda la banda. Si faltara una parte de sintonía en la gama de frecuencias más altas, por encima de 1.500 Kc/s, debe apretarse ese trimer, y si faltara una parte de la gama baja, chapas móviles introducidas, debe abrirse ese trimer. Luego de esta corrección, debe procederse al ajuste nuevamente, de acuerdo con las indicaciones dadas antes. Siempre que se termina el ajuste conviene volver atrás y rehacerlo, para lograr los mejores resultados; claro está que en la segunda pasada los retoques de posición de la bobinita de antena y del trimer de la sección antena del tandem serán menos importantes.

Las indicaciones sobre ajuste que se han dado son para el método que ha dado en llamarse *ajuste a oído*, el cual puede hacerse porque las fábricas entregan las bobinas precalibradas. Si se dispone de un generador de señales la operación de ajuste se puede hacer en forma más perfecta, comenzando por retocar los transformadores de F.I. a 465 Kc/s y poniendo después las dos frecuencias citadas en el dial del oscilador; en este caso las señales de 680 Kc/s y de 1530 Kc/s serán escuchadas en parlante por medio de la modulación de tono fijo del oscilador.

Con lo dicho hemos terminado nuestro receptor y podemos colocarlo dentro del gabinete. Sobre el modelo de mueble no abrimos juicio por ser un detalle que queda librado al gusto y posibilidades del armador.

Día 13

Durante la última jornada hemos estudiado un receptor superheterodino a transistores de entre los muchos que diseñan las fábricas de bobinas y cuyos componentes se encuentran fácilmente en plaza. Algunos lectores se habrán decidido a armarlo para realizar su práctica mientras que otros se habrán limitado a seguir las explicaciones sobre el armado para ponerlas en ejecución en otra oportunidad, inclusive con otros elementos, ya que hemos dicho que en los circuitos no hay diferencias sustanciales.

Precisamente, esta última aseveración se pondrá de relieve en la presente jornada, ya que la destinaremos a exponer algunos de los circuitos más difundidos en los últimos tiempos, publicados originalmente por sus fabricantes. Podrá así el lector familiarizarse con los diseños generalizados, elegir los de su preferencia y aplicar en cada caso las normas sobre armado y calibración dadas anteriormente, ya que las mismas son válidas en su totalidad, salvo las diferencias en los valores de algunos componentes o en la inclusión o exclusión de algunos de ellos. Asimismo, se han agregado algunos circuitos especiales de receptores, como el multibanda y el de automóvil, con la finalidad de ofrecer modelos que ayuden a la familiarización de los lectores con los equipos que encontrará en la práctica.

CIRCUITOS DE RECEPTORES

La selección de un grupo de circuitos de entre los muchos que se encuentran en plaza se ha hecho con el criterio de mostrar algunas diferencias de diseño, que en algunos casos son pequeñas pero que conviene conocerlas. Todos los circuitos tienen especificada su marca, ya que son reproducciones de los que los fabricantes dan a publicidad, por lo cual se indican las referencias o características de las bobinas y de los transformadores válidas para cada marca. En algunos esquemas se especifican los transistores y en otros no, pero para el caso puede usarse la tabla dada en el capítulo 12, que da los juegos de fácil obtención en plaza.

La figura 163 da el circuito MINX que trabaja con 6 Volt, aunque sin modificaciones puede usarse una tensión de 7,5 Volt. En el mismo esquema se dan las indicaciones para el ajuste; la fábrica advierte que si se usaran transistores NPN deben invertirse las conexiones de la batería, los electrolíticos y el diodo, pero esta regla se debe aplicar a todos los circuitos siguientes.

La figura 164 muestra el circuito RAF que emplea otra serie de transistores, y que está diseñado para trabajar con 6 V o con 9 V. Los valores de resistencias que figuran en el esquema sin recuadro, son para trabajar con 9 Volt y los que están dentro de recuadros, son los que deben usarse cuando se resuelva hacer trabajar el circuito con 6 Volt, naturalmente que con menor potencia de salida.

La figura 165 muestra el circuito PIGMEO para 6 Volt. Se ve allí como novedad con respecto a los anteriores, que se ha previsto una conexión para teléfonos, mediante un jack. Este circuito, lo mismo que el anterior, incorpora un lazo de realimentación negativa en el amplificador de audiofrecuencia. No se especifican los transistores, de modo que para elegir los juegos puede recurrirse a la tabla del capítulo 12.

La figura 166 muestra el circuito RAF que pertenece al tipo de los proyectados para dos tensiones, 6 y 9 Volt. Los valores de resistencias que figuran dentro de recuadros son los que deben usarse con 6 V. Nótese que este circuito incluye una etapa más de preamplificación de audio, por lo que se emplean en total 7 transistores en lugar de 6 que tenían los anteriores. La bobina osciladora tiene, en este caso, un código aparte que no coincide con el de los transformadores de F.I.; por este motivo, aparece una

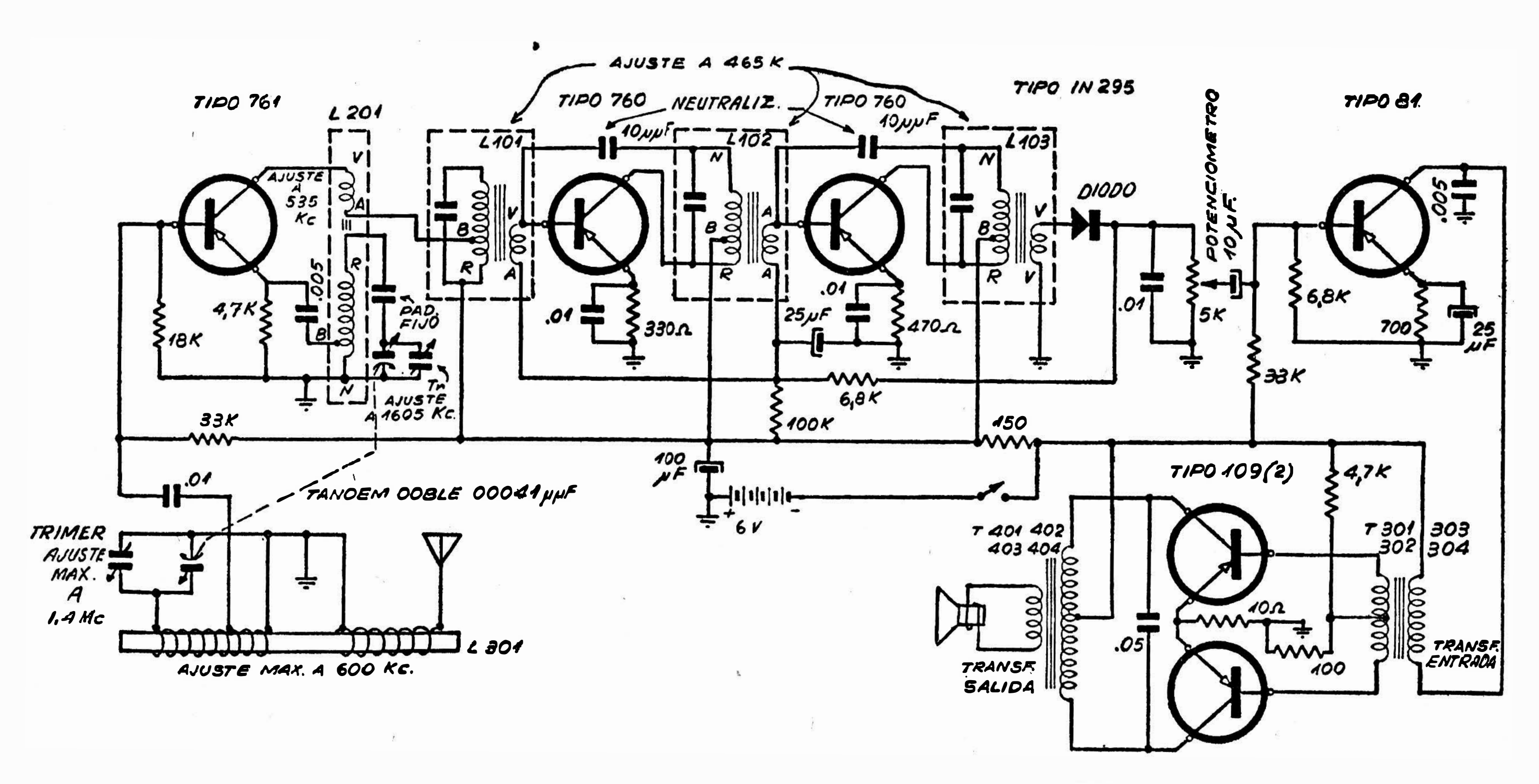


FIG. 163. — Circuito de un receptor a transistores con bobinas MINX.

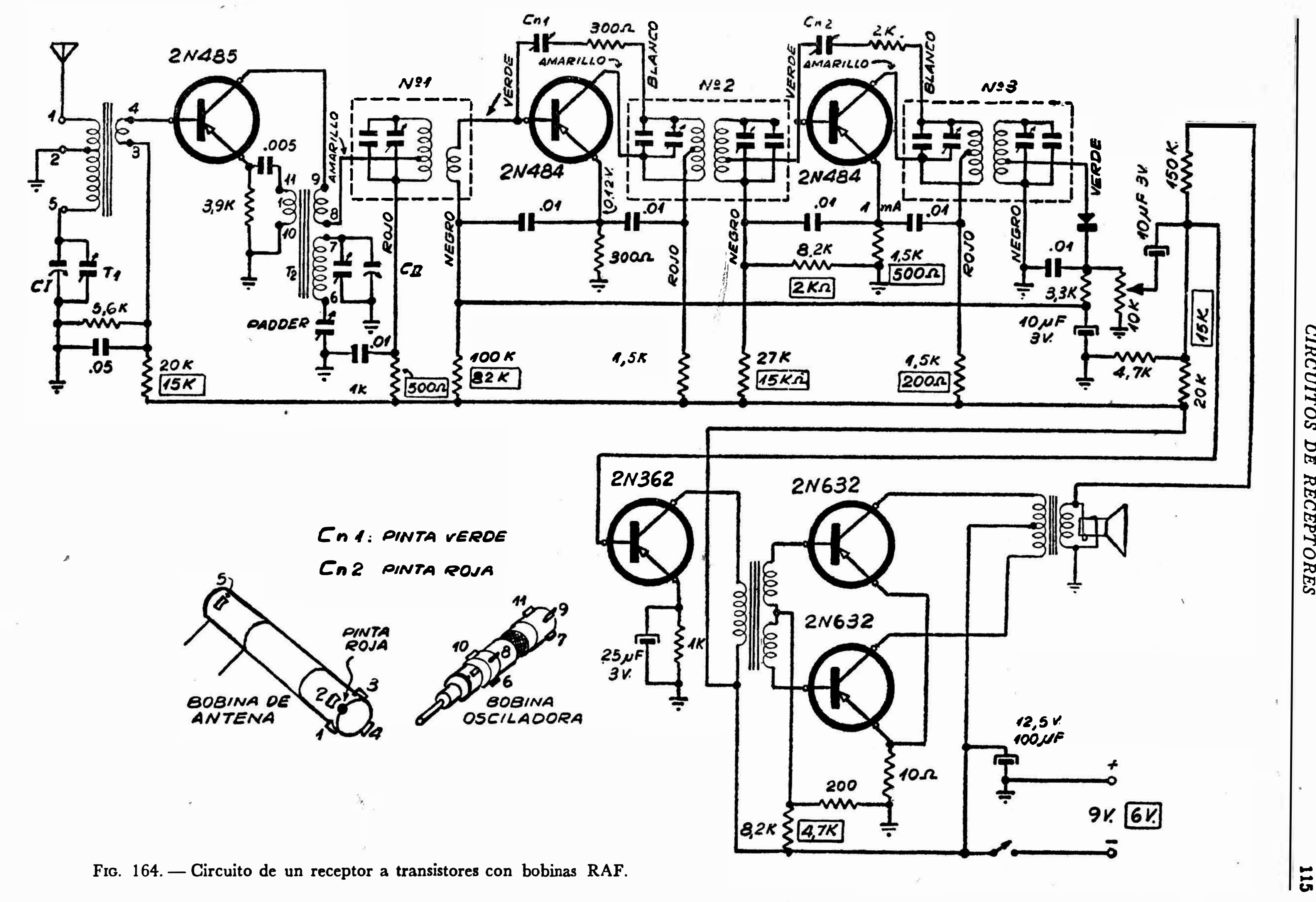


Fig. 164. — Circuito de un receptor a transistores con bobinas RAF.

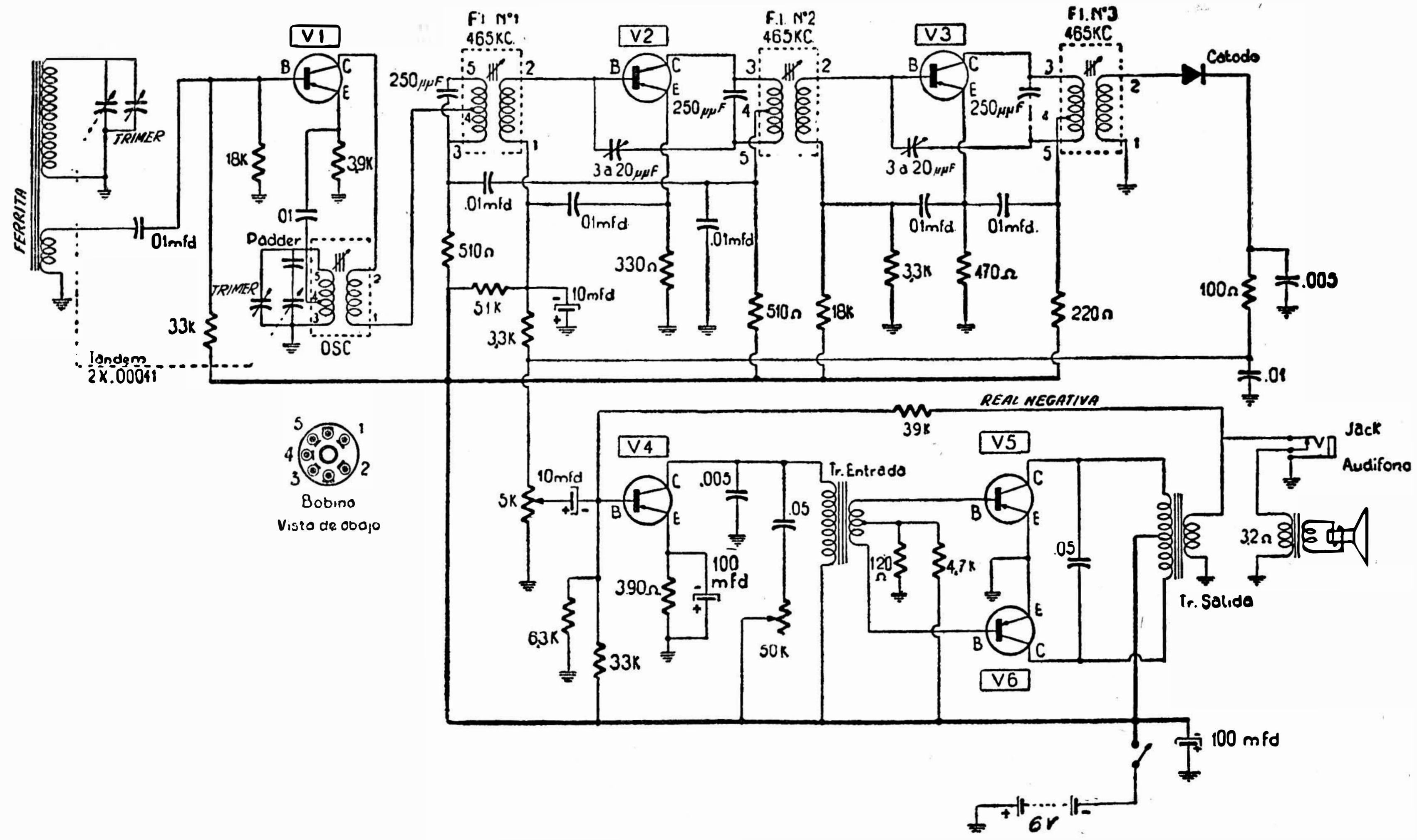


Fig. 165. — Circuito modelo Falcón de las bobinas PIGMEO.

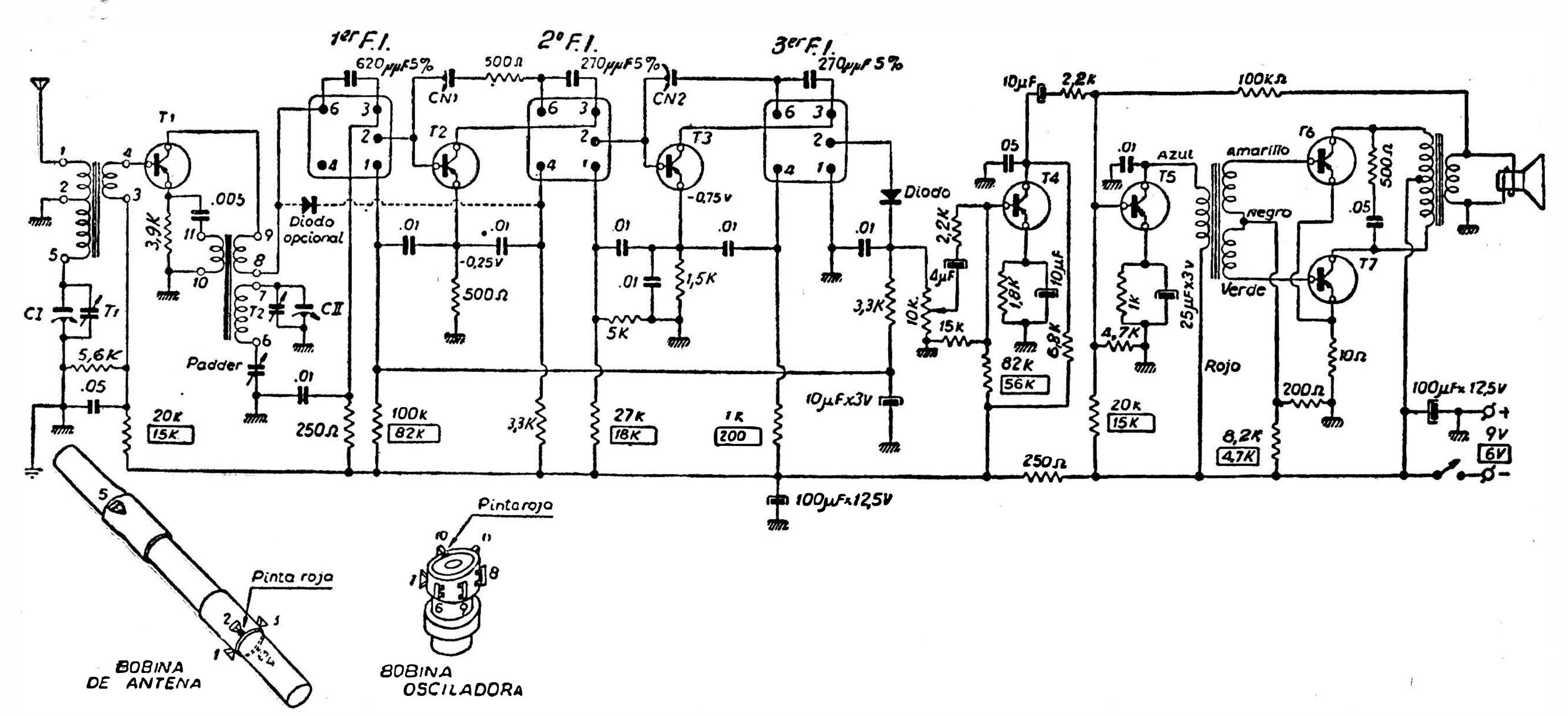


Fig. 166. — Circuito de un receptor modelo 603 de las bobinas RAF.

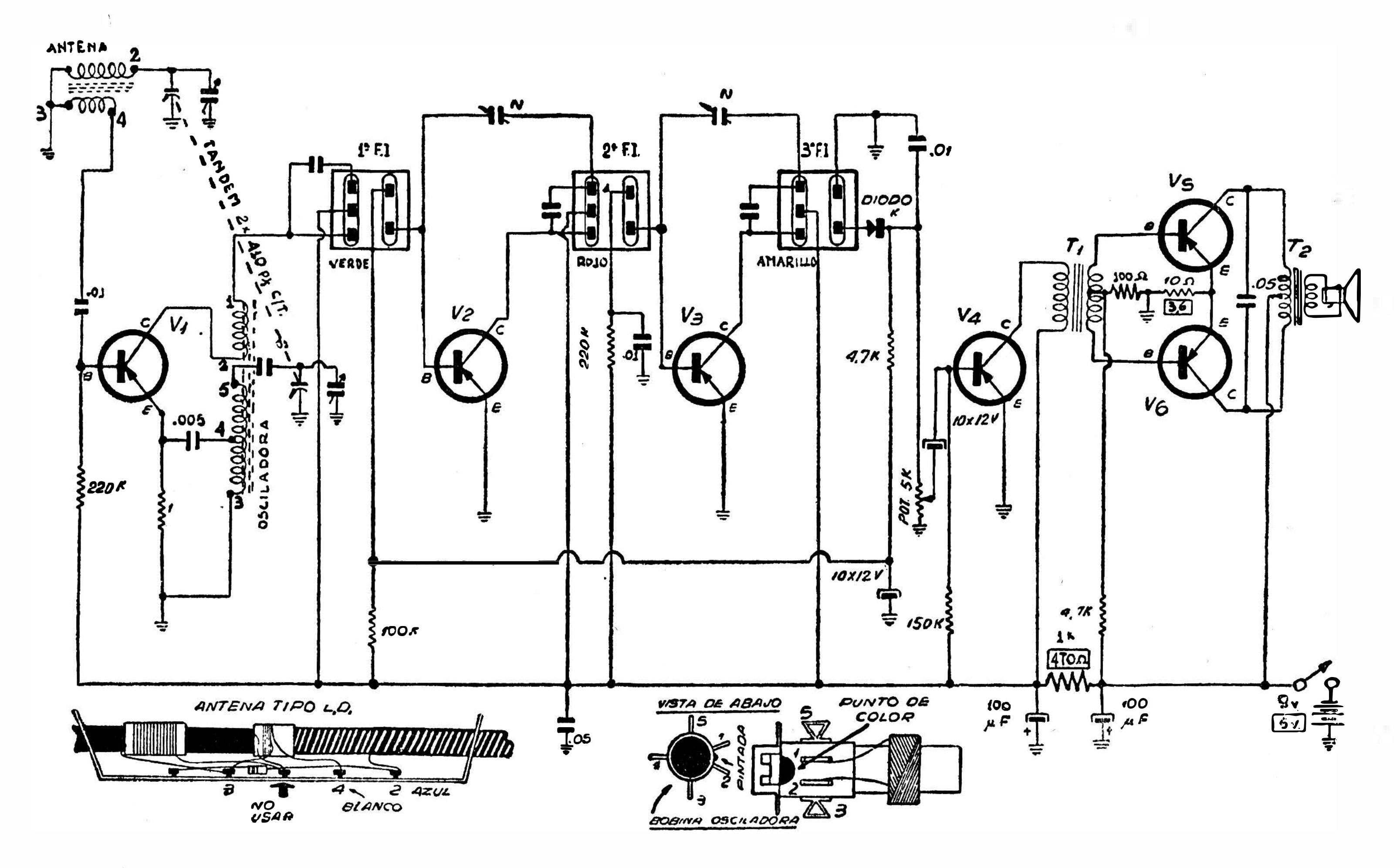


FIG. 167. — Circuito del modelo Simplex de las bobinas ACHE.

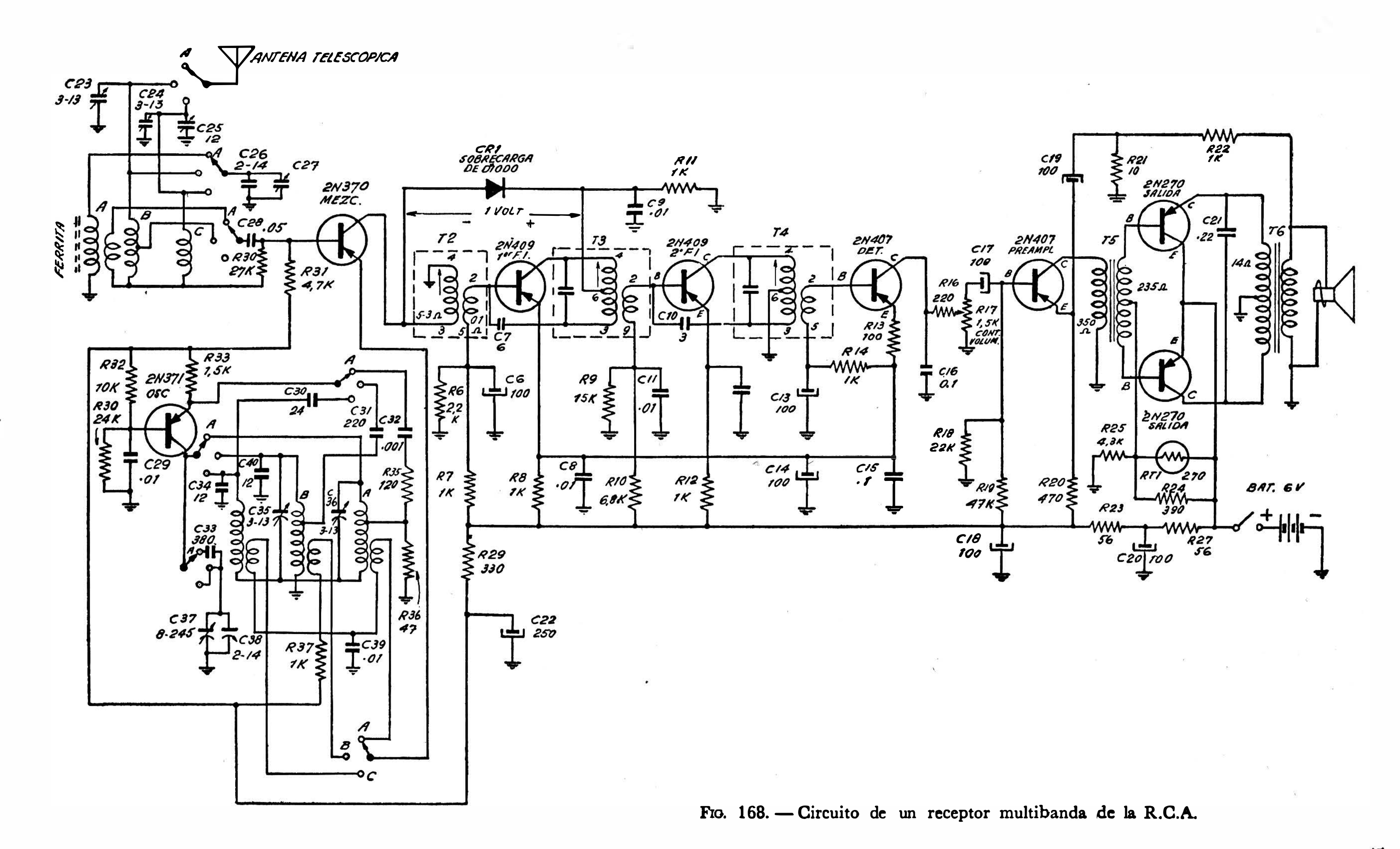


FIG. 168. — Circuito de un receptor multibanda de la R.C.A.

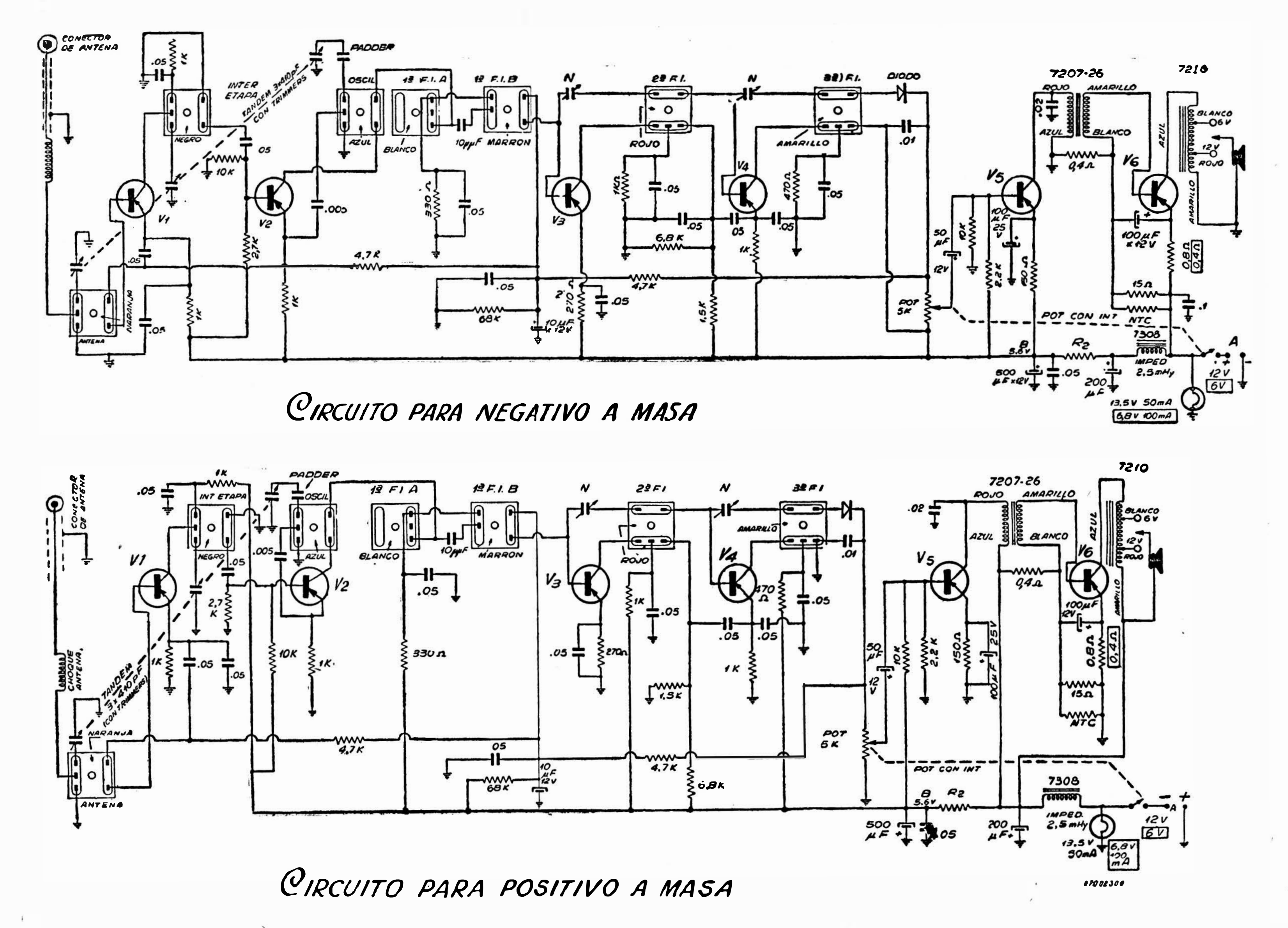


FIG. 169. — Circuitos del modelo Super-Car 62 de un receptor para automóvil de la ACHE.

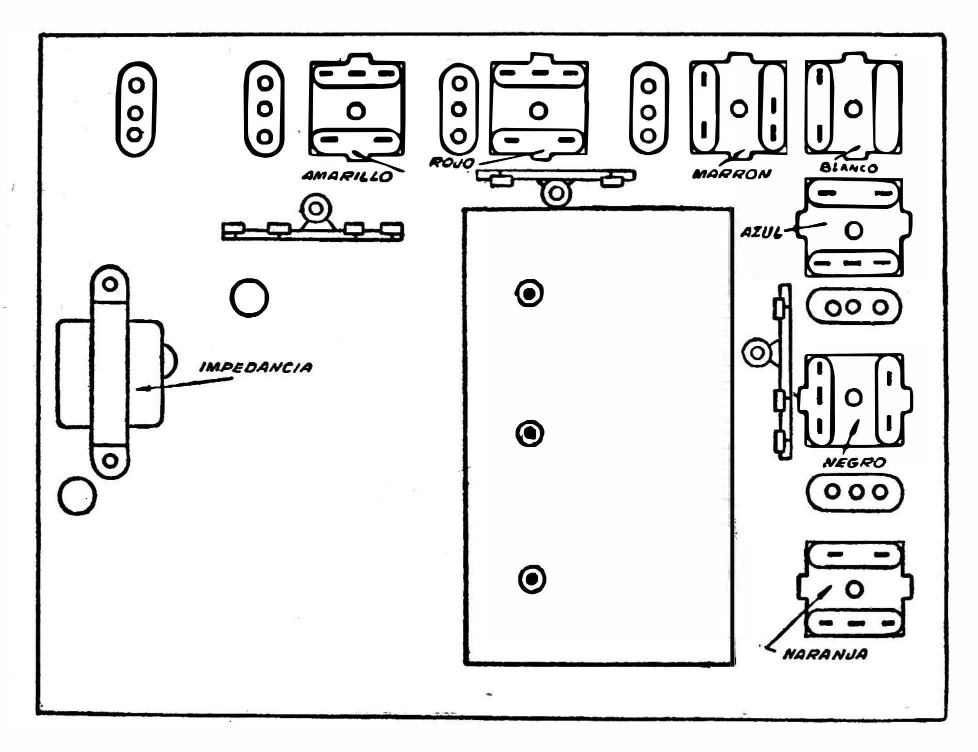


FIG. 170. — Distribución sobre el chasis de los elementos para el receptor de la figura 169.

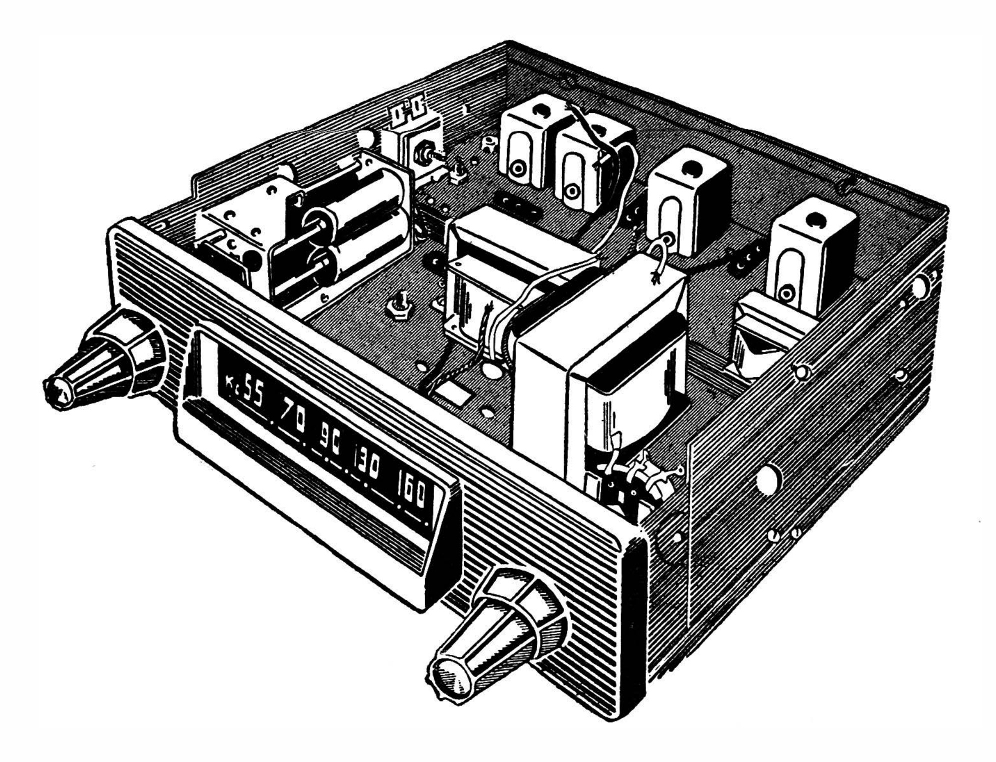


FIG. 171. — El receptor modelo Super-Car 63 de la ACHE con sintonía a permeabilidad.

vista de la misma en la parte inferior, con indicación de los números claves.

La figura 167 muestra un circuito muy simple de la ACHE, justamente denominado "Simplex"; se caracteriza por la reducida cantidad de elementos, y pertenece a la serie de diseños para dos tensiones, 6 y 9 Volt, colocando, como es de práctica, en recuadro las cifras correspondientes a la tensión menor. También aquí la bobina osciladora aparece en vista abajo del esquema para facilitar su conexión.

La figura 168 muestra un esquema que difiere fundamentalmente de los anteriores, pues incorpora recepción de ondas cortas. Es un diseño de la R.C.A. para tres bandas de onda, con 8 transistores, y tiene la particularidad de que el oscilador local lleva un transistor independiente. Funciona con 6 Volt y sus elementos no se encuentran comúnmente en plaza.

Pasamos finalmente a las figuras 169, 170 y 171, que muestran el circuito ACHE para receptor de automóvil. Hay dos esquemas, porque en los coches hay dos tipos de conexión de la batería de acumuladores: con positivo o con negativo a chasis. Se emplea una etapa amplificadora de R.F. antes del conversor y la etapa final de audio es simple. La figura 170 muestra la distribución de elementos sobre el chasis.

La figura 171 muestra el modelo Super-Car 63 de la ACHE, que es un receptor para automóvil que incluye la novedad de que la sintonía es por variación de inductancia y no de capacidad. No lleva tandem, y en su lugar se sintoniza por desplazamiento del núcleo de las bobinas de antena y del oscilador local. Siendo esta mención de carácter ilustrativo, dejamos el esquema detallado para los lectores más avezados.

Día 14

Hemos tenido oportunidad de familiarizarnos con varios circuitos de receptores a transistores, conociendo las disposiciones típicas, valores de los elementos y algunas diferencias en el diseño. Sería de mucha conveniencia estudiar detenidamente los circuitos exhibidos, pues se llega a memorizar los esquemas con la ventaja que es fácil imaginar. Se ofrecieron en primer término los receptores transistorizados por su mayor difusión, comparada con la de otros circuitos, como son los amplificadores, combinados, audífonos, intercomunicadores, etc. Además de los mencionados, hay otros equipos que funcionan con transistores, pero pertenecen al campo de la electrónica industrial y por lo tanto escapan al tema de esta publicación.

Dedicaremos entonces esta jornada a la descripción de circuitos populares a transistores, que no sean los receptores comunes ya vistos en los días anteriores. Por las razones ya expuestas se elegirán preferentemente los esquemas diseñados por los fabricantes de elementos, ya que el armador deberá optar en todos los casos por alguno de ellos; por otra parte se trata de proyectos bien revisados y de funcionamiento seguro.

OTROS CIRCUITOS A TRANSISTORES

Cuando se mencionan circuitos a transistores, podría hacerse una nómina exactamente igual a la que agrupa los circuitos con válvulas electrónicas, ya que en casi todos los casos aquéllos pueden reemplazar a éstas, con las debidas modificaciones en los circuitos. Pero de esa nómina debemos elegir los equipos que construye habitualmente el armador particular, porque si, por ejemplo, queremos estudiar un contador de radiaciones cósmicas, evidentemente escapa a las posibilidades de nuestro quehacer cotidiano. Consideraremos circuitos comunes a los receptores (ya vistos), amplificadores de audio, combinados, audífonos e intercomunicadores. Y de todos ellos nos ocuparemos en esta oportunidad.

Amplificadores de audio

Si recordamos los temas tratados en los capítulos 4 y 6, tendremos los elementos de juicio necesarios para estudiar circuitos completos de amplificadores de audiofrecuencia. Pero hay que establecer las limitaciones prácticas que dichos circuitos tienen en nuestro medio. En efecto, los amplificadores de gran potencia destinados a entidades deportivas y culturales se siguen haciendo con válvulas, ya que no hay ningún problema de alimentación y, por otra parte, no se encuentran en plaza los transistores de alta potencia que se requerirían. Nos quedan los amplificadores de potencia reducida para tocadiscos portátiles y los de potencia media que se destinan a amenizar reuniones campestres; las potencias de salida de los mismos van desde unas fracciones hasta unos cuantos Watt. Esos son los circuitos que trataremos, ya que no tendría objeto ocuparnos de equipos que no se encuentran en uso en nuestro medio.

Tomemos entonces primero un circuito simple diseñado por FAPESA para tocadiscos portátil, que suministra unos 400 miliwatt de salida, y que mostramos en la figura 172. Emplea transistores PNP del tipo Philips y funciona con 6 Volt, de modo que lleva 4 pilas secas. El motor del giradiscos será también para 6 Volt.

La fábrica diseñadora da los datos para los dos transformadores, por si se desean construir o encargar, en lugar de adquirirlos en plaza como transformadores de entrada y salida para clase B. Esos datos son:

Transformador T1:

- núcleo de sección 1,8 cm^2 (1,2 × 1,5 cm);
- chapas de 4 % de silicio y 0,35 mm espesor;
- primario: 1925 espiras de alambre de 0,12 mm;
- secundario: dos bobinados de 550 espiras c/u. con alambre de cobre de 0,30 mm, bobinado bifilar.

Transformador T2:

núcleo igual al de T1;

primario: cuatro galletas de 79 espiras c/u. con alambre de 0,40 mm, formando el orden 1 - 3 - 4 - 6;

secundario: dos galletas de 32 espiras c/u. con alambre de 0,80 mm, formando el orden 2 - 5.

con el modelo anterior, y usa cuatro transistores PNP y se alimenta con 9 Volt, lo mismo que el motor del giradiscos. El montaje trabaja en clase B y los transformadores se encuentran en plaza pidiéndolos para "entrada" y "salida" de amplificador clase B; el segundo debe presentar una impedancia de carga de 550 Ohm de colector a colector. La potencia de salida de este equipo es de unos 170 mW.

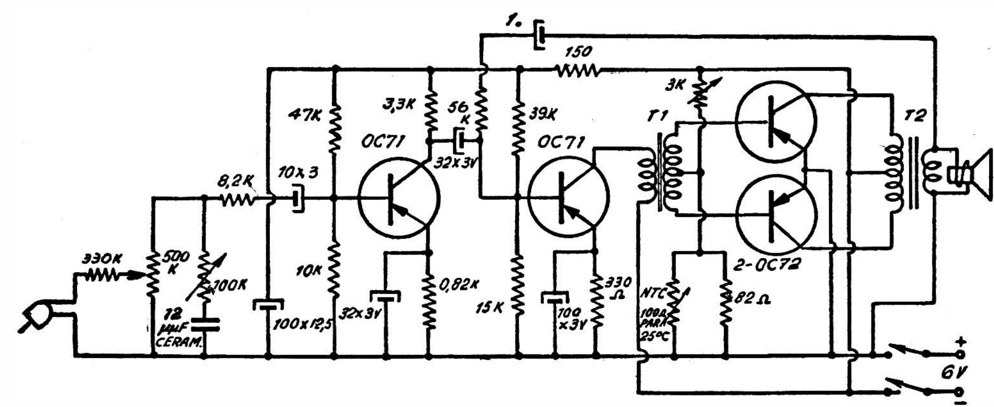


Fig. 172. — Circuito de un amplificador para tocadiscos de FAPESA.

Asimismo, el resistor de coeficiente negativo (NTC) que aparece en el esquema debe ser de 130 Ohm a 25°C; el parlante debe tener 5 Ohm en bobina móvil; el fonocaptor será de cristal. El consumo normal del amplificador es de 30 mA, y el motor giradiscos puede consumir

Y ahora pasemos a la figura 174, que nos muestra otro interesante diseño de la R.C.A. Se trata de un amplificador para reproducción estereofónica con transistores, que entrega unos 6 Watt de salida sobre dos parlantes. La alimentación es para corriente alternada de 220 Volt

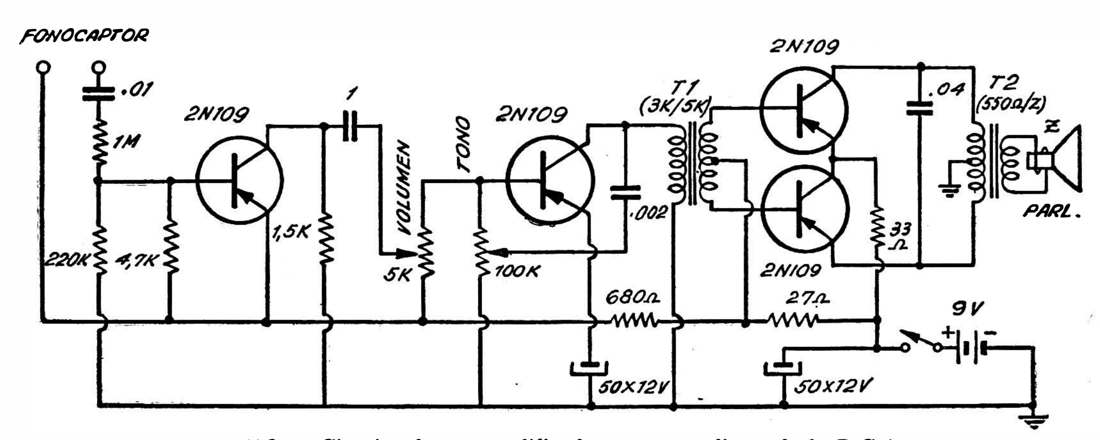


Fig. 173. — Circuito de un amplificador para tocadiscos de la R.C.A.

unos 40 mA, lo que hacen un total de 70 mA, de modo que con pilas A100 tendremos una duración de 70 horas.

Pasemos ahora a la figura 173 que nos muestra otro amplificador diseñado por la R.C.A. que emplea transistores de su marca. Como vemos, presenta pocas variantes si se lo compara

o, si se quiere hacer con pilas, necesita 24 Volt con positivo a masa. Los transformadores de salida tienen las siguientes características: T1 y T2, iguales, 25 Ohm sobre primario y 4 Ohm sobre secundario. El transformador de alimentación debe dar 48 Volt en el secundario, con punto medio, y como las corrientes de pico de

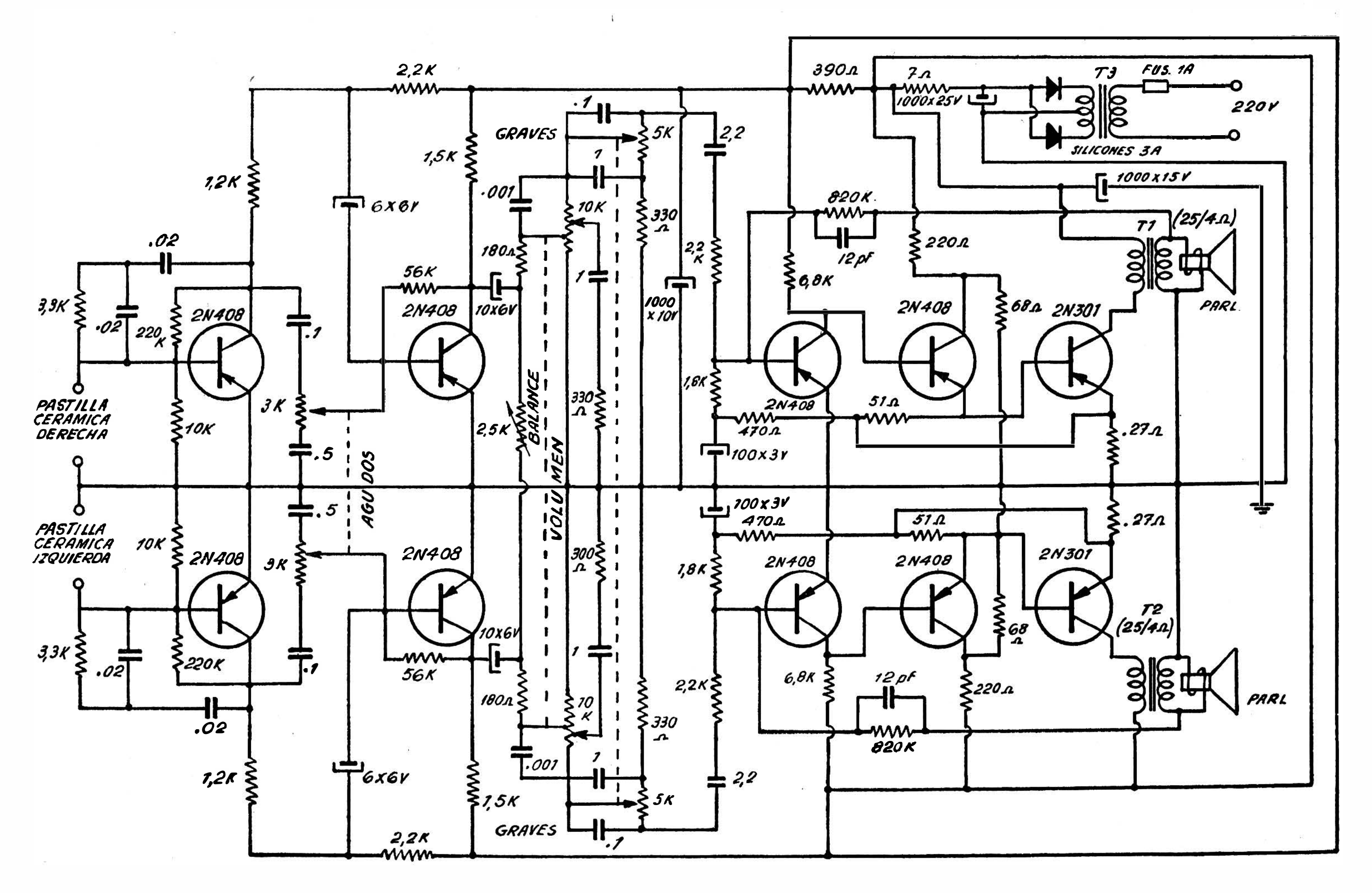


Fig. 174. — Circuito de un amplificador estereofónico de la R.C.A.

colectores de los transistores 2N301 son de 2 Amper c/u., ese secundario debe estar previsto para 4 Amper. En cuanto a los silicones, como se encuentran en plaza tipos para 3 A, usaremos ésos.

El fonocaptor debe ser especial para estéreo, con pastilla doble de cerámica, como es usual en este tipo de amplificadores. El motor giradiscos puede ser del tipo para 220 V si no se piensa usar el equipo como portátil; en caso contrario, se puede usar un motor de baja tensión, por ejemplo 9 Volt, y colocarle un juego de pilas independiente.

Podríamos seguir ofreciendo circuito de amplificadores de audio, pero no tendríamos tantas diferencias en los diseños, si dejamos de lado las distintas cifras de potencia y los tipos de transistores empleados. En todos los casos los circuitos deben especificar las características de los transformadores, el tipo de transistores y su polaridad y la tensión de alimentación. La potencia de salida es la cifra que permite elegirlos, según las necesidades; claro está que a mayor potencia mayor será el consumo y menor la duración de las pilas, cosa que debe tenerse muy en cuenta.

Combinados radio-fono

En muchas ocasiones se desea construir combinados portátiles, es decir que sean capaces de brindar audiciones de radio o música grabada. En otras palabras, el amplificador de audio que alimenta al parlante debe recibir en su entrada señal de un receptor de radio, parte desde la antena hasta el detector, o la señal de un fonocaptor que pertenece a un tocadiscos. Este mismo problema se presentó siempre en los equipos a válvula, de manera que no es nuevo.

El único detalle que se agrega a lo que ya hemos visto sobre receptores en el capítulo anterior y sobre amplificadores en éste, es la conmutación de la entrada del amplificador. Tomemos cualquiera de los circuitos de receptores, figuras 156 a 168, y hagámosle la modificación que muestra la figura 175, es decir intercalando entre el diodo detector y el control de volumen una llave simple inversora, uno de cuyos bornes trae señal del detector y el otro del fonocaptor a cristal, con la intercalación de un simple filtro RC formado por una resistencia de 330 Ohm y un capacitor de 270 mmfd. No hace falta repetir el esquema completo del receptor, pues la inclusión es muy simple, y pensamos que los lectores no tendrán ninguna dificultad en realizarla.

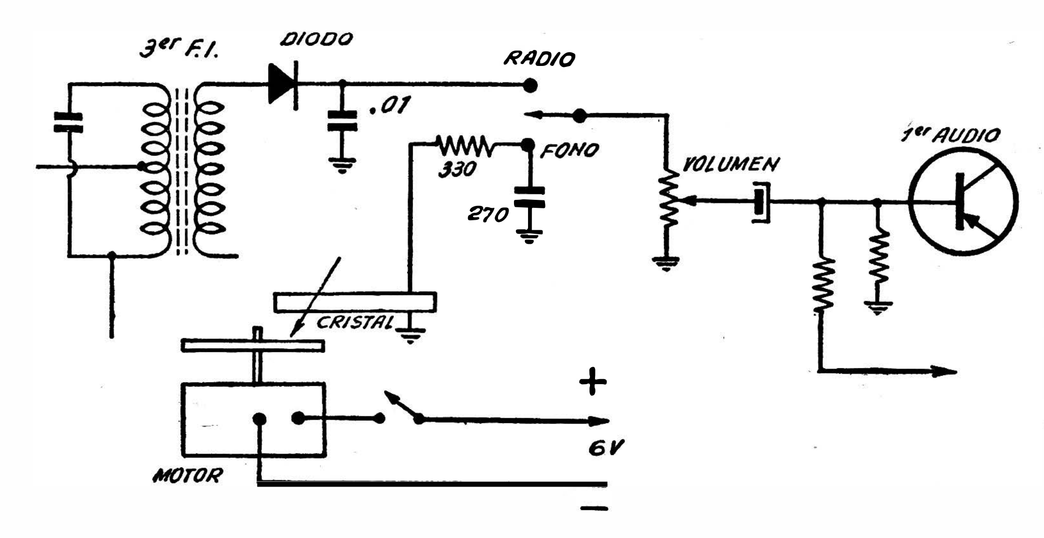


FIG. 175. — Forma de conmutar fono y radio en los combinados.

Pero, para conectar el fonocaptor y que éste suministre señal de audio proveniente de un disco, hay que disponer, además, de un motor giradiscos. Hay modelos portátiles para 6 V. y para 9 V. Es conveniente no usar las pilas del receptor para el motor giradiscos, de modo que usaremos otro juego de pilas, y entonces nos resulta más económico el tipo de motor para 6 Volt. Esto es lo que hemos indicado en el esquema de la figura 175. Si se desea, puede combinarse la llave inversora de entrada de audio con el interruptor del motor de 6 V, para simplificar la operación. En ese caso debemos colocar una doble inversora, de la cual usaremos en una de sus secciones solamente dos conexiones de las

tres que tiene. El movimiento de la palanca pasa la conexión de audio a fono y pone en marcha el motor del giradiscos, en forma simultánea.

Fuente de alterna para transistores

La idea de economizar pilas cuando los aparatos a transistores se usan en el hogar data desde la aparición de los equipos que usan esos

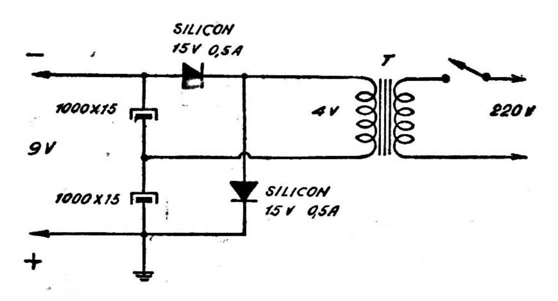


Fig. 176. — Fuente eléctrica para receptores a transistores.

elementos en lugar de válvulas. Y de inmediato se pensó en utilizar pequeñas fuentes eléctricas, con un transformador reductor de tensión y un rectificador.

Diversas experiencias aconsejaron utilizar un doblador de baja tensión en lugar del rectificador de media onda, por conseguirse de este modo mejor regulación en la fuente. La figura 176 nos muestra las conexiones a realizar para disponer de 9 Volt de continua partiendo de la tensión de 220 Volt de la línea de alterna. Un transformador T, que puede ser del tipo para campanillas, que suministre 4 Volt, dos silicones de 0,5 A. y dos capacitores electrolíticos de 1.000 mfd. a 15 Volt, completan la fuente. Llamará la atención el hecho de que partimos de 9 Volt, que sirven para la mayoría de los recep- que formamos con los dos silicones nos entrega el doble, y la alterna rectificada da un poco más del valor eficaz, al obtener continua y enderezarla bien mediante los electrolíticos. De modo que nuestra fuente nos entrega unos 9 Volt, que sirven para la mayoría de los receptores a transistores en boga.

Queda por saber cómo hacemos en el equipo para cambiar la fuente, o sea pasar de alimentación a pilas a la del transformador. Eso puede hacerse en forma automática, como vemos en la figura 177. Se trata de colocar un relay doble inversor, que puede ser alimentado también con la línea de 220 Volt de alterna. En la posición de reposo de sus lengüetas, queda conectado el juego de pilas normales del receptor, pero al conectar la línea eléctrica, automáticamente se desconectan las pilas y se pasa a alimentar con la fuente eléctrica. Los dos cables del receptor que normalmente van al portapilas, ahora vienen a los contactos centrales del relay. El circuito de la fuente no tiene los valores porque son los mismos dados en la figura 176.

Si no se quiere gastar dinero en un relay, puede usarse una llave doble inversora o un juego de jack-plug también doble inversor. En ese caso los contactos de las dos lengüetas del relay equivalen a iguales conexiones de la inversora o del jack, ya que ambas tienen dos contactos centrales y cuatro laterales. Hay que cuidar de dar la misma polaridad al receptor cuando se pasa de conexión con pilas a eléctrica, por lo cual se recomienda seguir cuidadosamente las indicaciones del circuito.

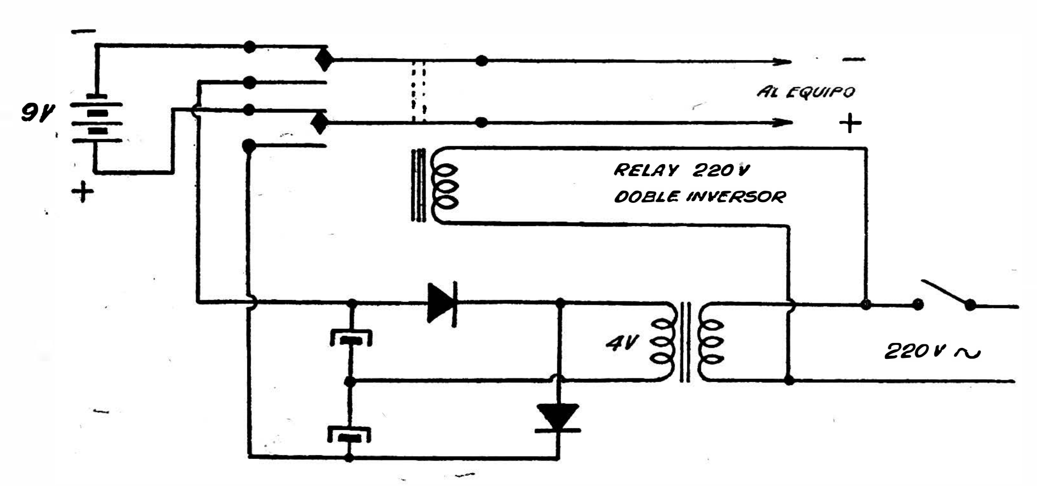


Fig. 177. — Fuente automática para receptores a transistores.

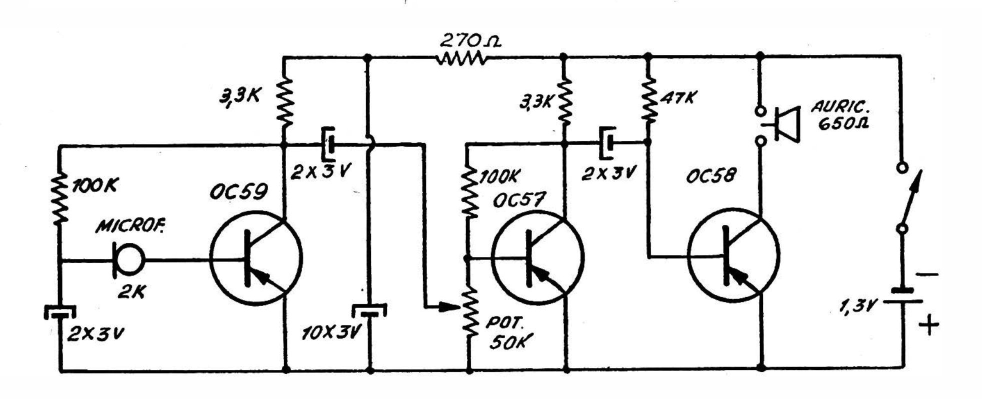


Fig. 178. — Circuito de un audífono a transistores de FAPESA.

Audífonos

Estos aparatos no son otra cosa que pequeños amplificadores que tienen a la entrada un micrófono y a la salida un auricular o teléfono, destinados a personas con dificultades auditivas. Deben ser diseñados con tamaño muy reducido y bajo consumo, y los elementos empleados, especialmente el micrófono y el auricular, son de diseño especial.

En la figura 178 podemos ver un audífono diseñado por FAPESA que lleva transistores tipo subminiatura. La fuente de alimentación es una pequeña pila de mercurio de 1,3 Volt. El micrófono es del tipo magnético, de 2.000 Ohm y el auricular es del tipo especial para el pabellón del oído, y tiene una impedancia de 650 Ohm. La potencia de este equipo es del orden de 0,5 mW, cifra que parece muy pequeña, pero que es suficiente para los fines a que se destina.

Si bien los audífonos se adquieren generalmente ya hechos, los elementos que lo integran se pueden encontrar en plaza, de modo que la construcción de estos equipos también puede ser encarada por el armador; esta razón nos ha impulsado a tratar el tema y a dar un ejemplo práctico que sirva de orientación.

Intercomunicadores

Los intercomunicadores son amplificadores de audio que pueden trabajar en las dos direcciones, mediante un sistema de conmutación de la entrada por la salida. Se emplean para hablar y escuchar entre oficinas o cualesquier otro par o grupo de lugares apartados en distancias no muy grandes. El circuito será pues, en esencia, un amplificador que emplea un parlante a la entrada, trabajando como micrófono y un parlante a la salida, trabajando en su función nor-

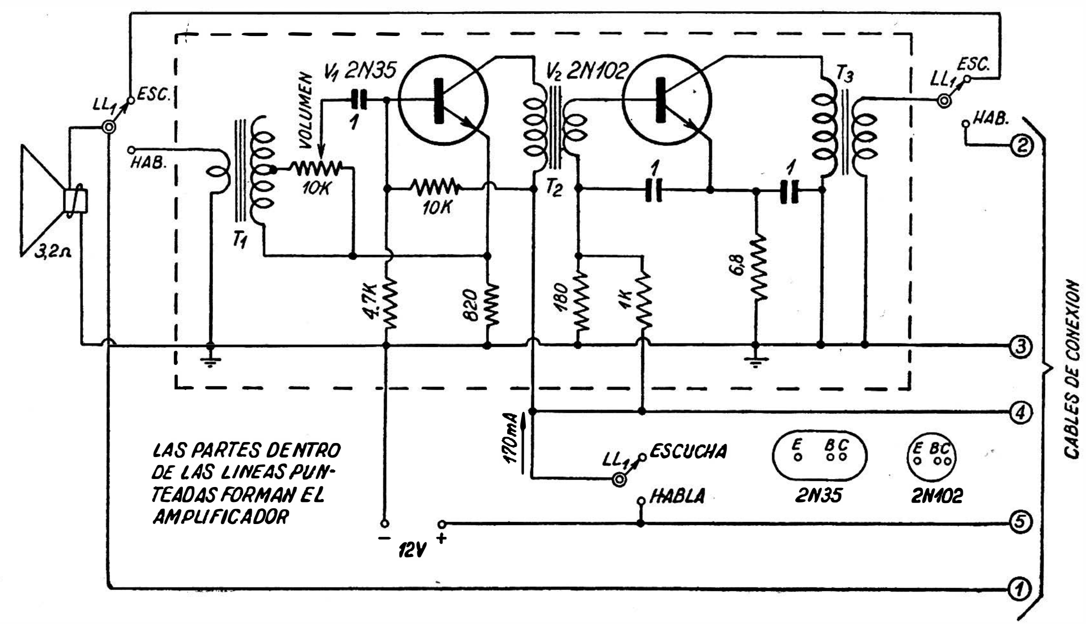


Fig. 179. — Circuito de un intercomunicador a transistores.

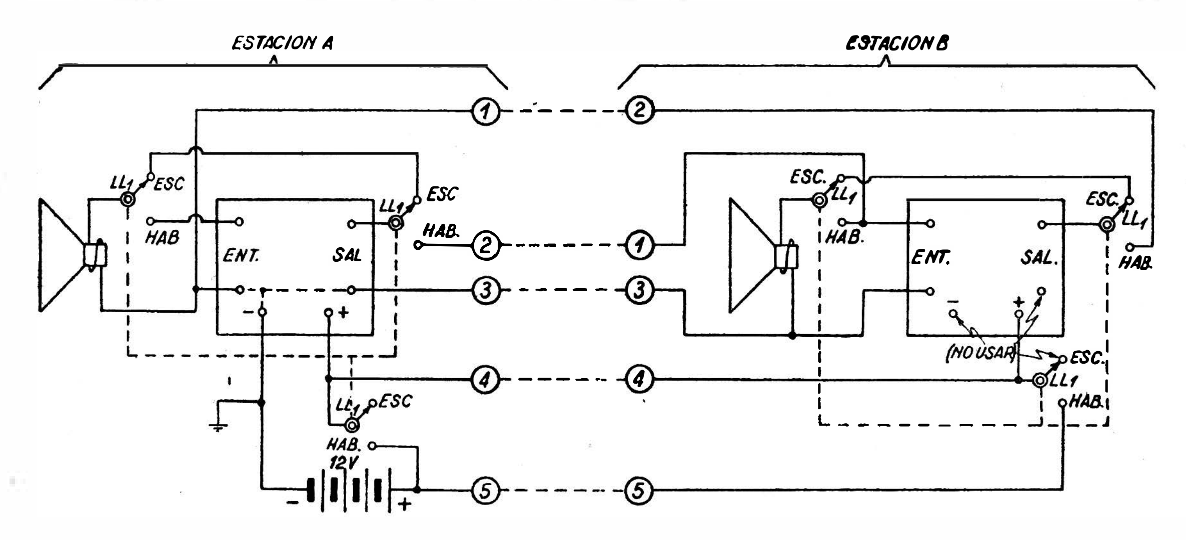


FIG. 180. — Esquema de la conmutación de un intercomunicador, para distancias grandes.

mal. Todo el secreto está en la conmutación, para que de cualquiera de los extremos se pueda hablar o escuchar, indistintamente.

Veamos la figura 179, que nos muestra el esquema de un intercomunicador de dos estaciones. Se han empleado transistores Sylvania, tipo NPN, que trabajan con 12 Volt y entregan una potencia de 0,6 Watt, que es suficiente para los fines perseguidos. Debe prestarse atención al detalle que estos transistores llevan polaridad positiva en colector, de modo que la batería lleva su negativo a masa.

La llave habla-escucha tiene dos posiciones y tres secciones, de acuerdo con lo que se ve en el esquema. El transformador de entrada T1 debe acoplar la impedancia de la bobina móvil del parlante de entrada con la impedancia de base del transistor 2N35, o sea 3,2 Ohm a 2.500 Ohm. El transformador inter-etapa debe tener 12.000 Ohm en el primario, impedancia de carga de colector del 2N35, y 32 Ohm en el secundario, impedancia de base de 2N102. Y el transformador de salida T3 debe tener 100 Ohm a 150 miliamper en el primario, cifras que corresponden al colector del 2N102, y 3,2 Ohm en el secundario, para acoplar la bobina móvil del segundo parlante. Se recomienda que este último transformador tenga muy baja resistencia a

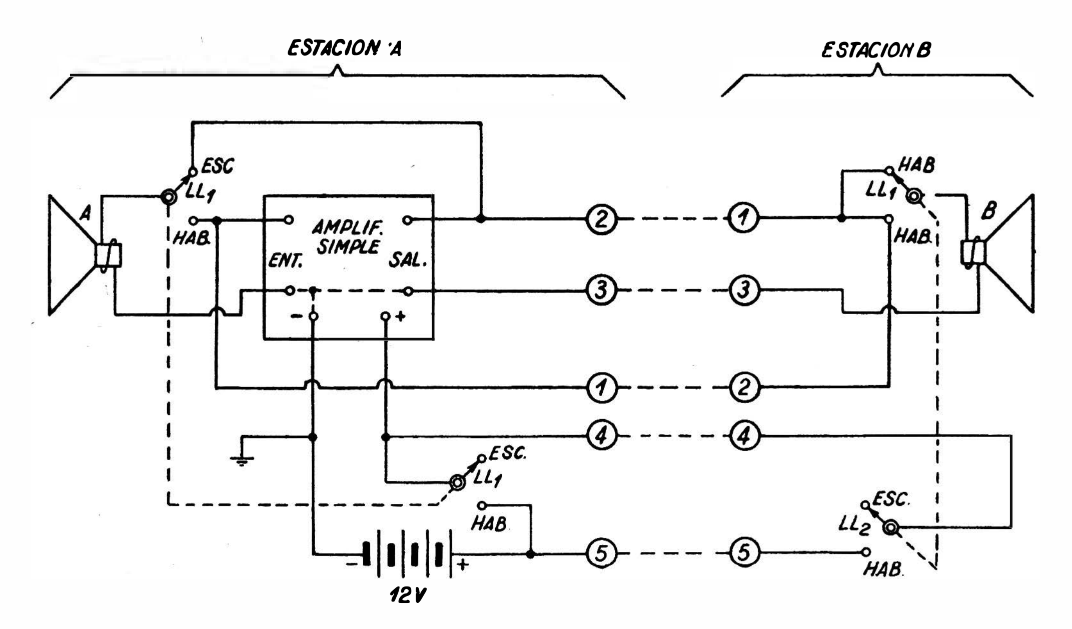


FIG. 181. — Esquema simplificado de la conmutación para distancias chicas.

la corriente continua en el primario, sólo unas fracciones de Ohm.

Para colocar las dos estaciones a distancia, veamos el esquema de la figura 180, que nos muestra que con un cable de cinco hilos se ha resuelto el problema. Este esquema se usa cuando la distancia es grande y deben usarse dos amplificadores iguales al de la figura 179. Cuando esa distancia es de unos cuantos metros, puede usarse un solo amplificador y el esquema es el de la figura 181.

En el caso que se tuviera que instalar más de dos estaciones, se repite el esquema de la estación B y se usa una llave conmutadora múltiple, con tantas secciones como estaciones remotas haya.

Día 15

Durante catorce días hemos estudiado el comportamiento de los transistores y sus distintas funciones, ya sea aisladamente o formando parte de aparatos completos; también nos hemos familiarizado con los circuitos más usados en plaza y hemos seguido, paso a paso, las etapas del armado de un receptor de radio. En otras palabras, si tomamos un equipo transistorizado y lo observamos detenidamente, por arriba y por debajo del chasis, podremos seguir mentalmente sus distintas etapas, comprender su funcionamiento, distinguir cada parte y explicar su misión.

Hasta aquí la labor sin tropiezos, el estudio y la puesta en práctica de las cosas aprendidas; teóricamente no puede haber dificultades, pues se supone que un equipo terminado y ajustado funciona y sigue haciéndolo indefinidamente. La realidad puede apartarnos de las afirmaciones anteriores si tomamos un equipo armado, accionamos el interruptor, nos quedamos esperando que funcione y nada... Giramos el control de volumen, la perilla del dial, incluso le damos unos golpecitos, inspirados en aquella técnica casera que muchas veces daba resultado, pero seguimos esperando el sonido que no se produce. Bueno, éste es el momento en que debemos decidir si llevamos el aparato a un taller de reparaciones o sacamos el chasis y nos ponemos a buscar la falla. De esta decisión depende todo nuestro futuro en la materia objeto de este libro; los comentarios estarían de más.

SERVICE DE APARATOS A TRANSISTORES

Cuando se habla de fallas de equipos de radio, y esto es válido tanto para aparatos a válvulas como a transistores, hay que distinguir dos casos totalmente distintos: la falla de un aparato recién terminado, o sea que nunca funcionó y la falla de un aparato que dejó de funcionar. Dentro de esos dos casos incluímos el funcionamiento defectuoso además de la mudez total. La gran diferencia que hay entre esas dos situaciones es que el equipo recién armado puede tener un error de conexiones y el otro no, puesto que ha estado funcionando. Y no se piense que la conexión errónea es un caso raro o difícil, especialmente en el caso de los aparatos a transistores de tamaño reducido y en el de los armados por principiantes. Lamentablemente, algunos errores son fatales para la vida de los transistores, por lo que si se encuentra un error en las polarizaciones, por ejemplo, deben probarse de inmediato los transistores incluídos en el circuito afectado.

Por los motivos señalados, el tema general de service puede dividirse en dos partes: la prueba y la revisión de equipos. Con respecto a la prueba, muchos armadores toman la saludable costumbre de probar todos los elementos que integran un equipo antes de armarlo, con lo cual se aseguran que si hay una falla de funcionamiento, ella se debe exclusivamente a un error de conexiones, y eso aparece en una inspección prolija del equipo terminado. Para probar todos los elementos se necesita un aparato y el más completo, el que mayores posibilidades nos brinda, es el multímetro o *tester*. En realidad, podría decirse que un armador de radio no puede prescindir del mismo. En los primeros tiempos de los receptores a válvula los armadores se arreglaban probando los circuitos a oído y usando como instrumento un destornillador; si se producía una chispa, era señal que había tensión en ese lugar. Con aparatos a transistores aconsejamos no intentar ese procedimiento.

Prueba de elementos con el tester

No es nuestra intención el enseñar a utilizar el multímetro, porque suponemos que todos los lectores lo saben, pero deseamos dar algunas indicaciones generales que son de interés, y que permitirán trabajar con más seguridad y mayo-

res posibilidades. Por ejemplo, no es necesario explicar que el multímetro tiene varias escalas o alcances de tensión, intensidad y resistencia, y que las primeras pueden ser de continua y de

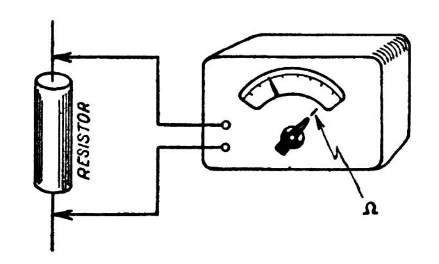


Fig. 182. — Prueba con el tester de una resistencia, un bobinado, o cualquier elemento que deba tener continuidad, estando fuera del circuito.

alternada. Cuando se deba medir una tensión, tenemos que correr la selectora o poner la clavija en el rango que corresponda. En caso de duda, se comienza siempre por el rango mayor, y luego, *desconectando siempre el instrumento,*

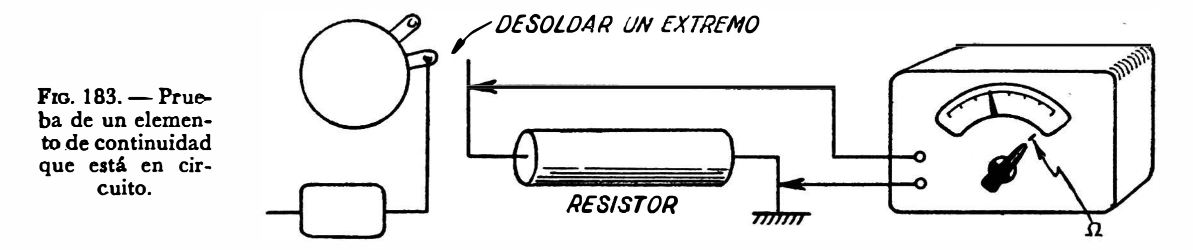


Fig. 183. — Prueba de un elemento de continuidad que está en circuito.

se pasa a los rangos menores. Debemos acostumbrarnos siempre a hacer los cambios de rango desconectando por lo menos uno de los terminales del aparato, para evitar sorpresas desagradables; por ejemplo, puede ocurrir que al pasar de un rango de tensiones a otro, se gire la perilla pasando por puntos de medición de corriente, y

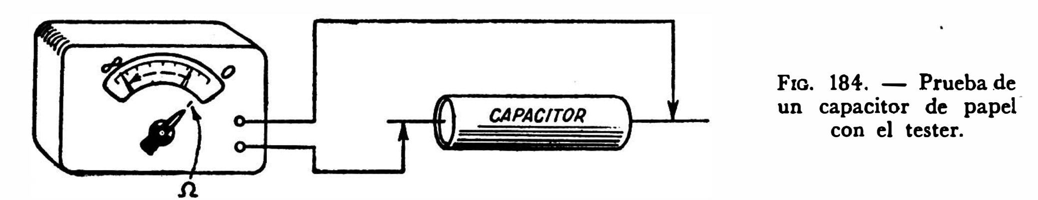


Fig. 184. — Prueba de un capacitor de papel con el tester.

tendremos conectado un miliamperímetro como voltímetro, claro que por un instante, pues después no tenemos ni una cosa ni la otra hasta que nos reparen el instrumento.

Para comprobar resistencias, no hay más que colocar la selectora en el punto correspondiente y tocar los dos extremos de aquélla con las puntas de prueba, en la forma como se ve en la figura 182. Puede tratarse de un resistor, de una bobina, de un transformador, etc., pero el elemento debe estar desconectado, por lo menos por uno de sus extremos. Si así no ocurriera, hay que desconectarlo, como muestra la figura 183, porque los otros elementos del circuito pueden falsear la indicación o dañar al instrumento. Esto último ocurre cuando el equipo en el cual se halla el elemento que probamos está conectado, o no estándolo, sus electrolíticos quedaron cargados.

La prueba de capacitores con el óhmetro requiere conocer qué es lo que ocurre cuando se los conecta al mismo. La figura 184 nos muestra el caso del capacitor de papel. Al conectar el capacitor, tocando sus dos terminales con las puntas de prueba, el mismo se carga, es decir que en el circuito hay corriente y ello equivale a conectar una resistencia. Luego el óhmetro indicará un valor que depende de la capacidad del capacitor; inmediatamente la aguja se corre hacia la indicación de infinito, extremo izquierdo de la escala. Si no llega, es decir, si marca unos cientos o millones de Ohm, el capacitor no está en buenas condiciones. Esto se puede determinar con más precisión si se comparan las lecturas con capacitores reconocidamente buenos. Los capacitores de mica o cerámica toman muy poca corriente de carga, de modo que prácticamente al tocarlos con las puntas de prueba ya la aguja marcará infinito, salvo en los de valor muy grande de capacidad. Si al tocar un capacitor de papel la aguja no marca resistencia al principio, uno de los terminales está cortado, y si la aguja no se corre hacia resistencia infinita, está en malas condiciones. A veces la aguja

marca cero Ohm, y eso indica cortocircuito franco.

El caso de los capacitores electrolíticos es un poco diferente y está tratado en la figura 185. Como este tipo de capacitor tiene un principio distinto de actuación, la sustancia dieléctrica acusa resistencia inicial, cuando el capacitor se carga, de valor bajo, y luego un valor mayor cuando está cargado. En la escala debemos leer un valor de resistencia bajo al principio y lentamente la aguja va subiendo hasta una cifra mayor. Para saber si lo que marca es indicio de buen estado hay que probar capacitores nuevos de diversos valores y marcas, y hacerse una especie de tabla mental. Con un rato de práctica podemos después saber en seguida cuándo un capacitor electrolítico está o no en buenas condiciones.

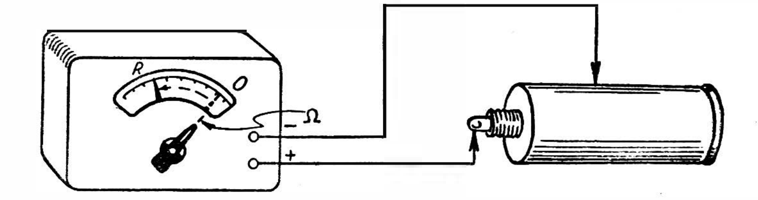


Fig. 185. — Prueba de un capacitor electrolítico con el tester.

Pasemos ahora a la medición de intensidades de corriente. Ya tenemos una diferencia con todos los casos anteriores, y es que siempre hay que desconectar, porque el aparato debe *insertarse en serie en el circuito.* Si se va a medir la corriente en una rama o sección, como se ve en la figura 186, debemos separar el cable que lleva corriente a esa sección y colocar allí el instrumento, cuidando que la punta de prueba positiva o roja vaya al *punto de donde viene la corriente* y la punta negativa o negra vaya al *punto que recibe la corriente.*

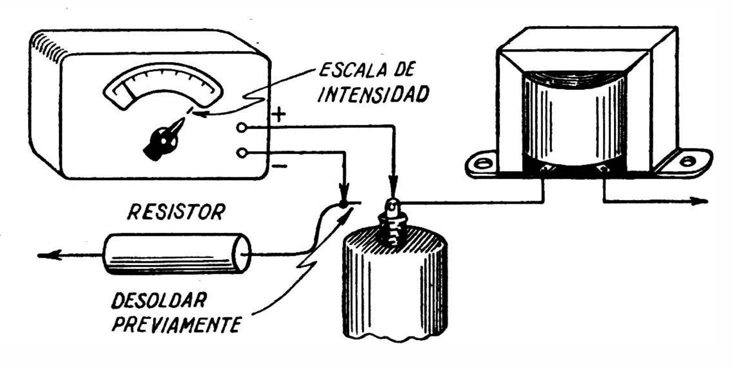


Fig. 186. — Forma de medir la intensidad de corriente con el tester.

Todavía una aclaración más, que es importante en los equipos a transistores. Los aparatos con transistores PNP llevan el positivo de las pilas a masa y los que tienen transistores NPN llevan el negativo a masa. A los efectos del sentido de la corriente que marca el tester, debemos entender que ella va del positivo al negativo, es decir que en los aparatos con transistores PNP, la corriente viene del chasis a los elementos a él conectados, mientras que cuando los transistores son NPN, la corriente va hacia chasis.

Si desconocemos el grandor de la corriente, comenzaremos por la escala mayor, y si la lectura es muy baja, *desconectamos* el equipo, cortando la alimentación, descargamos los capacitores electrolíticos del filtro y pasamos al alcance menor, conectando luego nuevamente el equipo.

Prueba de transistores con el tester

Desde que se usan transistores, ha cambiado un poco el concepto que regía las pruebas en equipos a válvulas, y que decía que lo primero que debe revisarse en un aparato son las válvulas, pues son los elementos de menor duración. En los equipos a transistores ocurre precisamente lo contrario, es decir que se piensa en éstos como los últimos responsables de una falla. Pero en el caso de las válvulas, ellas acusaban muchas veces sus fallas por falta de encendido de filamento, por luminosidades raras, etc.; el transistor, como elemento hermético y opaco, no acusa nada.

Existen probadores de transistores, diseñados ex profeso, pero son pocos los armadores que poseen uno, en cambio es común que se disponga de un tester o multímetro. Estos aparatos suelen tener una batería interna para medir resistencias, batería que suele ser de una tensión comprendida entre 1,5 y 6 Volt. Si es así, no

habrá problema, pero de todos modos conviene especificar que siempre debe usarse la escala intermedia del óhmetro. La escala alta no debe usarse si no se tiene la seguridad de que la batería que usa tiene tensión que no pueda ser peligrosa para el transistor en prueba; la escala baja tiene generalmente conexión interna distinta, y dos diodos, uno el que forma la juntura base-emisor y el otro el de la juntura base-colector. En ambos casos se deja el tercer electrodo libre. Cualquiera de los dos diodos que acuse falla es indicio de que el transistor no sirve. Cuando apliquemos el óhmetro a uno de los diodos, por ejemplo al que forman la base y el colector, con

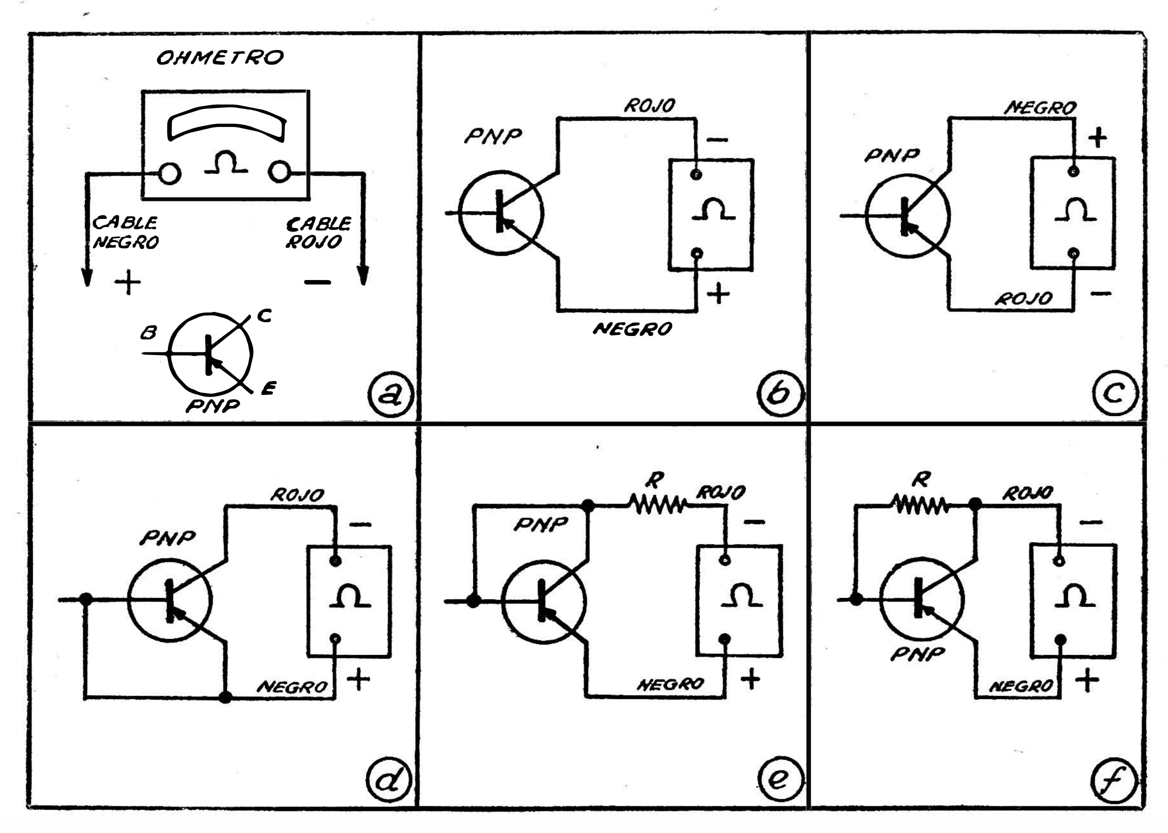


FIG. 187. — **Esquemas para probar transistores con el óhmetro de un tester. Son válidos para transistores PNP. Para los NPN se deben invertir las polaridades del óhmetro o las del cuadro adjunto.**

funciona con alta corriente circulante, por lo que tampoco debe ser usada.

Otro detalle importante es la polaridad del tester usado como óhmetro. Sus bornes suelen estar marcados con los signos (+) y (—), llevando el primero un cable rojo y el segundo uno negro. Para los efectos de la polaridad de la batería interna, esas polaridades deben tomarse al revés, usando el cable negro y borne (—) como polo positivo y el cable rojo y borne (+) como polo negativo (ver Fig. 187 a).

Ahora podemos comenzar a explicar cómo se hacen las pruebas del transistor, las cuales las agrupamos en 9 tipos. Las 4 primeras se refieren al esquema (a) de la figura 187 y las cinco restantes a los cinco esquemas siguientes. El esquema (a) consiste en considerar al transistor como la polaridad directa, la lectura de resistencia será baja y con polaridad inversa será alta.

De manera que en la tabla adjunta hemos indicado en las cuatro primeras pruebas, dos para cada diodo, una con polaridad directa y otra con inversa, las lecturas que deben obtenerse con el óhmetro para los transistores agrupados en tres tipos, baja, media y alta potencia. Esta clasificación es aproximada, y en la práctica deben considerarse a todos los amplificadores de alta frecuencia como transistores de baja potencia; a los preamplificadores de audio y a los amplificadores de escasa salida, como transistores de media potencia; y finalmente, los amplificadores de salida de potencia mayor son los de alta potencia, con cifras mayores que 300 mW. La figura que debe tomarse en cuenta es la 187 (a).

Supongamos que los transistores más comunes son los del tipo PNP. Para los NPN deben invertirse todas las polaridades de la tabla o invertir las conexiones del óhmetro.

Veamos ahora las pruebas que toman los dos diodos del transistor en conjunto. La figura (b) aplica el óhmetro entre el emisor y el colector, dejando libre la base, y con polaridad directa. Las lecturas de resistencia, renglón 5 del cuadro deben ser bajas. Si invertimos las conexiones del óhmetro, el transistor se lleva al corte, esquema (c), renglón 6, y las lecturas de resistencia deben ser altas. Si unimos la base con el emisor, el transistor se lleva al corte, aún con polaridad directa, esquema (d) y renglón 7; las lecturas de resistencia deben ser iguales a las del renglón 6.

PRUEBA DE TRANSISTORES PNP CON EL OHMETRO

Prueba Nº	Figura de referencia	Polaridad en electrodo			Lectura en el óhmetro (Ω) para transistores de		
		B	C	E	baja potencia	media potencia	alta potencia
1	a	+	—	no	50 K	50 K	30 K
2	a	—	+	no	120	80	50
3	a	—	no	+	140	80	50
4	a	+	no	—	50 K	50 K	50 K
5	b	no	—	+	6 K	2 K	100
6	c	no	+	—	50 K	20 K	5 K
7	d	+	—	+	50 K	20 K	5 K
8	e	—	—	+	100	50	7
9	f	—	—	+	2 K	200	10

(Para transistores NPN deben invertirse todas las polaridades)

Ahora hacemos la prueba de saturación, uniendo la base con el colector, esquema (e), con polaridad directa; el flujo de corriente es máximo y la lectura de resistencia debe ser muy baja, como vemos en el renglón 8. Esta lectura puede ser causante de una corriente muy elevada, por lo que suele usarse una resistencia limitadora, la R del esquema (e). Su valor se da para el esquema siguiente.

También puede limitarse la corriente colocando una resistencia entre base y colector, en lugar de hacer el puente directo, cosa que vemos en la figura (f). Las lecturas obtenidas en ese esquema son las que da el renglón 9 de la tabla. El valor del resistor R es de 100 Kilohm para transistores de baja potencia, 10 Kilohm para los de media potencia y 1 Kilohm para los de alta potencia.

Es de hacer notar que las pruebas señaladas anteriormente pueden hacerse con el transistor en circuito, desconectando la batería del aparato y observando la influencia que pueden tener en las lecturas los elementos conectados, desoldando los resistores de polarización si fuera necesario.

Reglas para el service de aparatos a transistores

La existencia en plaza de una gran cantidad de receptores de radio que funcionan con transistores ha hecho surgir el problema de la reparación de los mismos. Por novedosos, el armador muchas veces se queda perplejo hasta que se decide a poner manos a la obra. Con el objeto de evitarle errores iniciales, daremos algunas normas generales a que deben ajustarse la revisión y reparación de tales equipos.

Pueden resumirse esas indicaciones en 10 reglas prácticas, muy breves pero que servirán de guía; son ellas:

1) Un receptor superheterodino a válvula, a transistores o mixto, es siempre un superheterodino, y por tanto el tratamiento es el clásico para este tipo de circuitos.
2) Cuando un transistor acusa funcionamiento deficiente debe ser reemplazado por otro del que se tenga la seguridad de su correcto estado. No hay que ensayar en reacondicionamiento ni en modificaciones del circuito para hacerlo servir. Un transistor puesto en un probador puede acusar buen estado y en el receptor funcionar mal.

3) En el presente no debe reemplazarse un transistor por otro de distinta marca, pues las diferencias constructivas producen grandes diferencias de comportamiento.
4) Hay grandes diferencias entre válvulas y transistores. Con la llave general cerrada la impedancia interna de los transistores no es infinita, como ocurre con las válvulas. Si se deben hacer pruebas con el óhmetro, deben sacarse todos los transistores del equipo, pues la corriente de la batería de ese aparato puede destruirlos, además de que se obtendrían indicaciones incorrectas.
5) Los transistores no soportan el calor. Cuando se arrima el soldador hay que tener en cuenta ese detalle y no usar modelos de más de 40 Watt, so pena de arruinar algún transistor. Mejor aún es sacarlo cuando se deba soldar algo en su vecindad. Si no se puede sacar, úsese una pinza de puntas largas como disipador, las que tomarán el alambre que sale del transistor y va a la otra parte, cualquiera sea ésta.
6) Cuídese mucho la polarización de los transistores, pues si ella es equivocada puede inutilizarse; ese error puede cometerse al insertarlo en el zócalo o al colocar la batería.
7) Al cambiar un transistor se deberá ajustar nuevamente todo el equipo. Ello se debe a las diferencias constructivas de que hablamos antes, las que se producen aun dentro de unidades de la misma marca.
8) Para alinear equipos a transistor debe usarse una señal de bajo nivel, para evitar sobrecargas. Téngase en cuenta que esos elementos trabajan normalmente con señales muy bajas, y es fácil que se produzca una sobrecarga. El procedimiento de ajuste debe ser repetido dos o tres veces para que quede definitivo, porque al ajustar una etapa se puede desajustar la otra, ya que, a diferencia con las válvulas, los transistores no tienen sus circuitos de entrada y salida aislados entre sí, sino que hay conductancia entre ellos. La repetición del ajuste va corrigiendo esas anomalías.
9) Hay que evitar hacer pasar por los transistores corrientes imprevistas, aunque sean de muy corta duración. Cuando se trabaje en un aparato de este tipo, y se deba recambiar un transistor o una batería, siempre debe cortarse la llave general del aparato para evitar sorpresas desagradables.
10) En lo posible, deben usarse baterías del mismo tipo original, o sea a mercurio, en lugar de las comunes, del tipo "seco". Se consigue mayor duración (unas cinco veces) y mejor funcionamiento. Claro que esta cláusula puede estar reñida con el factor "existencia en plaza".

Guía de fallas en receptores a transistores

Los receptores a transistores acusan fallas como cualquier otro tipo de receptor, sólo que esas fallas son diferentes en su origen. Por ejemplo, en un receptor a válvulas es difícil que el funcionamiento se haga defectuoso por haber bajado la tensión, salvo que esa reducción sea notable. En los receptores a transistores, como tienen pilas, no se cae en la cuenta de que las mismas se agotan y deben ser repuestas cuando ello ocurre. Tan cierta es esta aseveración, que se recomienda a los armadores que cuando deben revisar un equipo a transistores lo primero que deben hacer es verificar el estado de las pilas, las cuales deben acusar por lo menos 1,5 Volt por elemento.

En esta guía de fallas descartamos los errores de conexiones, porque ellos ocurren en los receptores recién armados, y suponemos que estamos tratando de los receptores que funcionaron ya normalmente. Destacaremos las fallas más frecuentes, por imposibilidad de hacer referencia a todas.

1) *Funcionamiento intermitente.* Es debido principalmente a contactos defectuosos de elementos no soldados. Ello se presenta en la batería de pilas, en el potenciómetro, en el tándem y en la ficha de parlante o del auricular. El remedio consiste en pasar esmeril en los bornes centrales y en las bases de todas las pilas, estirar un poco los resortes del portapilas, echar bencina en el interior del potenciómetro y en los cojinetes del tándem, y revisar los contactos de la ficha del parlante o auricular. También deben limpiarse los espacios entre chapas del tándem y puede colocarse grafito en polvo en sus cojinetes.

2) *Desvanecimiento de la señal.* Muchas veces las pilas están semiagotadas, pero al comenzar a funcionar suministran tensión más o menos buena durante un rato, induciendo a engaño sobre su verdadero estado. Al producirse el desvanecimiento deben revisarse, midiendo su tensión.

3) *Silbidos en todas las estaciones.* Este defecto es común en los receptores a transistores, y se debe generalmente a cambios de valores en

algunos capacitores, especialmente los de neutralización de la F. I. o en los de sintonía de la misma F. I. No debe olvidarse que todos los capacitores de mica o cerámica son afectados por la temperatura, por lo que sería ideal colocar en esos lugares capacitores de coeficiente de temperatura nulo. Puede también haberse producido un desajuste de la alineación, y, aunque parezca raro, el defecto puede deberse también a baja tensión de las pilas, ya que la frecuencia del oscilador local depende de la polarización del transistor que oficia de oscilador.

4) *Oscilaciones de audiofrecuencia.* Si pasa señal de R. F. a la fuente de alimentación, se produce una oscilación en forma de tableteo, cosa que ocurre también en los receptores a válvula. Ese paso se produce cuando el capacitor electrolítico derivado sobre la fuente, en este caso la batería de pilas, es defectuoso. Debe ser recambiado o debe colocarse en paralelo con el mismo un capacitor de paso de R. F., de calidad impecable. Además, si tal electrolítico está en malas condiciones, es posible que provoque el fuerte desgaste de la batería, cosa que sabe el dueño del receptor, y tal sería un indicio.

5) *Volumen que varía al sintonizar.* Hay que revisar de inmediato el capacitor del control automático de sensibilidad, cosa que puede hacerse con el tester en la forma explicada al comienzo del capítulo. También puede estar en malas condiciones el detector, el cual generalmente es un diodo, pero en algunos receptores más costosos es un transistor.

6) *Sensibilidad pobre en frecuencias bajas.* Es muy fácil que el responsable sea el transistor conversor, de modo que deberá probárselo en la forma explicada anteriormente o sustituírselo por otro igual. También deben verificarse las tensiones y las corrientes en ese transistor, pues puede haber alteración en los valores de las resistencias de polarización.

7) *Baja salida de audio.* Hay muchos elementos en el amplificador de audio de un receptor como para revisarlos a todos, pero para saber si la falla reside realmente en la sección de audio, puede sacarse la conexión que va del detector al control de volumen y una de masa, y llevarlas a otro receptor similar, aplicando ambos cables a los extremos del control de volumen del segundo receptor; la única precaución importante es que se trate de transistores del mismo tipo, por ejemplo, PNP. Si el volumen es normal, habrá que revisar toda la sección de audiofrecuencia, comenzando por medir tensiones y corrientes de los transistores, en la forma ya explicada. Téngase en cuenta que los transformadores de audio están hechos en tamaño reducido y pueden tener bobinados con cortocircuitos parciales. Si se tuviera otros a mano, podrían ser reemplazados transitoriamente.

8) *Mudez absoluta.* Estando bien la batería, esta falla se debe a algo drástico, como ser el bobinado de algún transformador cortado, un cortocircuito franco en un capacitor a masa o un circuito abierto franco en un capacitor de acoplamiento. Debe distinguirse el caso de que estando mudo el receptor tenga su tensión normal, de aquel que acuse tensión nula, pues este último caso se debe a un corto franco sobre la batería, y ella no puede durar mucho.

Todas las fallas enumeradas son las más frecuentes, pero no se ha hecho mención a que antes de revisar elementos y etapas hay que realizar una buena inspección ocular del equipo, pues es frecuente que manos inexpertas hayan tocado el interior del aparato para tratar de hacerlo funcionar y, al no lograrlo, acudan al reparador. Conexiones que se tocan, cables cortados, soldaduras sueltas y aun desajustes por haber sido accionados los trimers y los núcleos de los bobinados, son cosas que se encuentran con mucha frecuencia. De este modo, dejamos al reparador entusiasta con su tarea, la que será tanto más grata y eficiente cuanto mayor sea la experiencia que irá acumulando.

INDICE GENERAL

Este libro se terminó de imprimir en los
Talleres Gráficos Dulau, Rauch 1849, Buenos Aires
el día 19 de noviembre de 1963.

por CHRISTIAN GELLERT
con la dirección técnica del
ING. FRANCISCO L. SINGER

Un tema de candente actualidad, los transistores, que ya han invadido todos los campos de la Electrónica, prácticamente sin limitaciones; una manera de enseñar que ya ha sido probada y que no admite discusión; un autor que se ha especializado en desarrollar tal sistema de enseñanza; y la dirección de la obra en manos de uno de los profesionales que mayor prestigio ha alcanzado en el mundo bibliográfico de habla castellana. Pocas veces se puede presentar una conjunción de valores de tal magnitud en un libro y ésta es, sin lugar a dudas, una de ellas. Hay mucho que leer sobre transistores, pero ¿por dónde empezar? ¿Qué es lo que hay que saber antes de comenzar a armar circuitos, a revisarlos, repararlos y diseñar los nuevos? ¿Qué conocimientos se exigen muchas veces a los lectores de una obra? Las respuestas a tantas preguntas se condensan en una sola: APRENDA TRANSISTORES EN 15 DIAS no le pide nada y se lo da todo. No hace falta saber Matemáticas, apenas un poco de Radio y después dejarse llevar de la mano hasta el final de la obra. Una vez asimilado todo lo que ella contiene, pueden leerse otros libros más avanzados, pero seguramente el lector volverá a la presente para releer una descripción simplificada, para consultar un circuito, para repasar una explicación.

La EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A. se ha propuesto, con la colección de obras a que pertenece ésta, contribuir a difundir los conocimientos técnicos para aumentar la legión de los aficionados a la Electrónica. Con libros como el que ahora ofrece a su público lector le resulta fácil demostrar que tal empeño da resultados. Las numerosas ediciones de los otros volúmenes que componen esta serie son pruebas vivas de que el método da resultados. Y es que la elementalización de los temas se logra sin faltar a la verdad científica; de este modo el lector puede abordar después lecturas más avanzadas sin tener que modificar conceptos, sólo ampliarlos. Nuevos volúmenes seguiran enriqueciendo la colección de los *Aprenda en 15 días*. . .; sus autores trabajan infatigablemente para ello. Mientras, ve la luz el que posiblemente ha sido el más esperado; ahora ya lo tiene a su disposición el público amigo.

EDITORIAL HISPANO AMERICANA S. A.
Alsina 731 Buenos Aires


Editorial
H.A.S.A.